



Tiago dos Santos Carrasco Godinho

Licenciado em Ciências de Engenharia Química e Bioquímica

***Big Data Analytics for Refining
Processes-ElI***

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Hugo Carabineiro, Responsável pela área da
Tecnologia e Conceção de Refinação da Refinaria de
Sines

Co-orientador: Mário Eusébio, Professor auxiliar do
Departamento de Química da FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Joaquim Silvério Marques Vital, FCT/UNL

Arguente: Prof. Doutor José Paulo Barbosa Mota, FCT/UNL

Vogal: Engenheiro Hugo Miguel Delgado Carabineiro, Galp Energia



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro, 2017

Tiago dos Santos Carrasco Godinho

Licenciado em Ciências de Engenharia Química e Bioquímica

***Big Data Analytics for Refining
Processes-ElI***

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Química e Bioquímica

Orientador: Hugo Carabineiro, Responsável pela área da
Tecnologia e Conceção de Refinação da Refinaria de
Sines

Co-orientador: Mário Eusébio, Professor auxiliar do
Departamento de Química da FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Joaquim Silvério Marques Vital, FCT/UNL

Arguente: Prof. Doutor José Paulo Barbosa Mota, FCT/UNL

Vogal: Engenheiro Hugo Miguel Delgado Carabineiro, Galp Energia

Setembro, 2017

Big Data Analytics for Refining Processes-EII

Copyright © Tiago dos Santos Carrasco Godinho, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

“Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa consegui. Nunca desista dos seus objectivos, mesmo que eles pareçam impossíveis, a próxima tentativa poderá ser a vitoriosa.”

Albert Einstein

Por a constante motivação e valores transmitidos, dedico aos meus pais, irmão e avós esta dissertação.

Agradecimentos

Ao realizar a dissertação, contei com inúmeros apoios e motivações, sem os quais a realização desta não seria possível. Com o intuito de expressar a minha eterna gratidão, agradeço:

- À Galp Energia, pelo facto de, terem aceite a minha estadia na Refinaria de Sines e por consequentemente terem alargado o meu conhecimento em diferentes áreas de engenharia;
- À Faculdade de Ciências e Tecnologia-Universidade Nova de Lisboa, pelo conjunto de ensinamentos oferecidos ao longo do meu percurso académico, e ao alargamento do meu horizonte, nas diversas áreas de engenharia;
- Ao meu orientador, Engenheiro Hugo Carabineiro, pelas constantes lições e partilha de conhecimento quanto a diversos aspectos da refinaria, à capacidade de alargar os meus horizontes na área de Engenharia Química, e à constante motivação deste no sentido de eu demonstrar o máximo de trabalho realizado nestes seis meses;
- Ao meu co-orientador, Professor Mário Eusébio, pela constante preocupação quanto à qualidade do meu trabalho e ao meu bem estar ao longo destes seis meses, bem como os constantes ensinamentos em diversas áreas da Engenharia Química;
- Aos meus colegas de trabalho e de faculdade, pela constante motivação e conselhos ao longo da realização da dissertação e pelos ensinamentos em relação a diversas áreas;
- Aos meus amigos, pelo entusiasmo, constante motivação e alegria, expressados ao longo deste percurso, sem os quais não teria tido a mesma perseverança, ética de trabalho e entusiasmo;
- À minha família, pela constante motivação, conselhos, amor e apoio financeiro ao longo do meu percurso académico, e por terem tido suficiente confiança em mim, de modo a deixarem-me florir nestes seis meses de trabalho árduo.

Resumo

Com o desenvolvimento tecnológico e a crescente utilização de energias renováveis, o sector de refinação encontra-se cada vez mais competitivo, sendo essencial que as refinarias reduzam os seus custos de funcionamento.

Recorrendo ao EIITM¹, verifica-se que para o mesmo regime/condições de operação, a refinaria de Sines consome uma maior quantidade de energia que a maioria dos seus competidores. Com o objetivo de minimizar o EIITM, realizou-se uma análise aos dados da refinaria, utilizando pacotes de aglomeração, redução de dimensionalidade e elaboração/treino de modelos estatísticos da ferramenta R.

Segregaram-se dois programas gerais de fabrico do processo da refinaria, agrupando quatro variáveis associadas ao processo de operação da destilação atmosférica.

Foram analisados os consumos líquidos de 17 unidades processuais, através de variáveis como a temperatura ambiente, quantidade de carga, *fouling* e tipo de programa. Após as análises, concluiu-se que:

- O consumo líquido não é afectado pelo tipo de programa de fabrico;
- O melhor modelo de representação do consumo líquido é linear, em que o preditor é normalmente a carga, o enxofre recuperado ou o hidrogénio produzido da unidade.

As variáveis utilizadas no cálculo do EIITM foram agregadas em modelos de regressão multilinear, tendo as variáveis não significativas sido identificadas através da comparação de parâmetros, como o coeficiente de normalização e o *p-value*.

Após a otimização dos modelos, foi realizada uma validação e treino dos mesmos, tendo sido utilizado o mesmo raciocínio para os modelos compostos por variáveis macro e por variáveis associadas aos programas individuais de fabrico da refinaria.

O resultado foi a integração bem sucedida dos diversos modelos no gráfico de acompanhamento diário do EIITM, assim como a identificação das variáveis que mais o influenciam, estando estas relacionadas com o consumo de utilidades e os regimes de operação da AL, da destilação atmosférica, da HT, da HR e do HC.

Palavras-chave: EIITM, R, programas de fabrico, consumos líquidos, validação.

¹ EIITM é uma marca registada da HSB Solomon Associates LLC.

Abstract

Due to technological development and increased use of renewable energy, the refining sector is becoming increasingly more competitive, therefore it is essential that the refineries reduce their operating costs.

Through the EIITM² it is verified that the Sines refinery consumes a greater amount of energy than most of its competitors, when using the same regime and operating conditions. With the aim of minimizing the EIITM, a statistical analysis was performed on the refinery data, using agglomeration, dimensionality reduction and elaboration/training of statistical models packages from the tool R.

Two general manufacturing programs were identified in the refinery process, grouping four variables associated with the operation process of atmospheric distillation.

The net consumptions of 17 procedural units were analyzed through variables such as ambient temperature, quantity/quality of feeding, fouling and type of program. After the analyzes it was concluded that:

- The net consumption is not affected by the type of manufacturing program;
- The best representation model of net consumption is linear, where the predictor is usually the feeding, the recovered sulfur or the hydrogen produced from the unit.

The variables used in the EIITM calculation were then aggregated into multilinear regression models, in which the non-significant variables were identified through the comparison of parameters, such as the normalization coefficient and the p-value.

After the optimization of the models it was then performed a validation and training on the same, the same reasoning was used for the models made up of macro variables and variables associated with the individual refinery manufacturing programs.

The result was the successful integration of the various models on the daily EIITM chart, as well as the identification of the most influential variables in the EIITM, these being related to the consumption of utilities and the operating regimes of AL, atmospheric distillation, HT, HR and HC.

Keywords: EIITM, R, manufacturing programs, net consumptions, validation.

² EIITM is a trademark of HSB Solomon Associates LLC.

Índice de matérias

| | |
|--|----|
| Capítulo 1-Enquadramento e motivação | 1 |
| 1.1 Contextualização do problema | 1 |
| 1.2 Caso de estudo..... | 3 |
| 1.2.1 Refinaria de Sines..... | 4 |
| 1.2.1.1 Destilação atmosférica | 7 |
| 1.2.1.2 Destilação de vácuo I | 8 |
| 1.2.1.3 Destilação de vácuo II | 10 |
| 1.2.1.4 Visbreaker | 11 |
| 1.2.1.5 Hydrobon de destilados (HD)..... | 13 |
| 1.2.1.6 Dessulfuração de gasóleo pesado (HG)..... | 14 |
| 1.2.1.7 Unidade de reformer catalítico | 15 |
| 1.2.1.8 Produção de hidrogénio na fábrica I..... | 17 |
| 1.2.1.9 Alquilação e Desisobutanizadora | 17 |
| 1.2.1.10 Fluid Catalytic Cracking | 19 |
| 1.2.1.11 Dessulfuração gasolina de cracking (HT) | 20 |
| 1.2.1.12 Produção de hidrogénio na fábrica III | 21 |
| 1.2.1.13 Hydrocracker..... | 22 |
| 1.2.1.14 Recuperação de enxofre I, II e III..... | 23 |
| 1.3 Objetivos | 25 |
| Capítulo 2- <i>Big Data Analysis</i> | 27 |
| Capítulo 3- Metodologia | 45 |
| Capítulo 4- Discussão dos resultados obtidos | 55 |
| 4.1 Identificação dos tipos de programa de fabrico..... | 55 |
| 4.2 Destilação atmosférica | 59 |
| 4.2.1 Consumo líquido | 60 |
| 4.3 Destilação de vácuo I | 62 |
| 4.3.1 Consumo líquido | 63 |
| 4.4 Destilação de vácuo II..... | 64 |
| 4.4.1 Consumo líquido | 65 |
| 4.5 <i>Visbreaker</i> | 67 |
| 4.5.1 Consumo líquido | 68 |
| 4.6 Destilação de vácuo II integrada com o <i>visbreaker</i> | 70 |
| 4.7 HD..... | 71 |
| 4.7.1 Consumo líquido/bruto..... | 72 |

| | |
|---|-----|
| 4.8 HG..... | 73 |
| 4.8.1 Consumo líquido | 74 |
| 4.9 Unidade de <i>reformer</i> catalítico..... | 75 |
| 4.9.1 Consumo líquido | 76 |
| 4.10 HI..... | 77 |
| 4.10.1 Consumo líquido | 78 |
| 4.11 AL | 80 |
| 4.11.1 Consumo líquido/Consumo bruto | 80 |
| 4.12 Desisobutanizadora | 82 |
| 4.12.1 Consumo líquido/Consumo bruto | 82 |
| 4.13 FCC | 84 |
| 4.13.1 Consumo líquido | 85 |
| 4.14 HT | 86 |
| 4.14.1 Consumo líquido | 87 |
| 4.15 HR | 88 |
| 4.15.1 Consumo líquido | 89 |
| 4.16 Hydrocracker..... | 90 |
| 4.16.1 Consumo líquido | 91 |
| 4.17 SS | 92 |
| 4.17.1 Consumo líquido | 93 |
| 4.18 SB..... | 94 |
| 4.18.1 Consumo líquido | 95 |
| 4.19 SC..... | 97 |
| 4.19.1 Consumo líquido | 98 |
| 4.20 Conclusão do 1.º objectivo..... | 99 |
| 4.21 EII™..... | 100 |
| 4.21.1 Estudo de variáveis significativas | 100 |
| 4.21.2 Modelo estatístico preditivo | 111 |
| 4.22 Conclusão do 2.º objectivo..... | 115 |
| 4.23 Programas de fabrico..... | 116 |
| Capítulo 5-Conclusões | 121 |
| Referências | 123 |
| Anexos..... | 129 |
| Anexo A- Listas de equipamentos | 131 |
| Anexo B- Lista de pacotes utilizados | 154 |
| Anexo C- Listas de TAGS | 156 |

| | |
|---|-----|
| Anexo D- <i>Breakdown</i> dos consumos/produções..... | 161 |
| Anexo D.1-Destilação atmosférica..... | 161 |
| Consumo de vapor 24 barg..... | 161 |
| Consumo de vapor 10.5 barg..... | 162 |
| Produção de vapor 10.5 barg..... | 163 |
| Consumo de vapor 3.5 barg..... | 165 |
| Produção de vapor 3.5 barg..... | 166 |
| Consumo de vapor..... | 168 |
| Produção de vapor..... | 169 |
| Consumo de fuel gás | 170 |
| Consumo de eletricidade | 171 |
| Consumo bruto | 172 |
| Anexo D.2-Destilação de vácuo I..... | 173 |
| Consumo de vapor 24 barg/Produção de vapor 3.5 barg..... | 173 |
| Consumo de vapor 10.5 barg..... | 175 |
| Produção de vapor 10.5 barg..... | 175 |
| Consumo de vapor 3.5 barg..... | 176 |
| Consumo de vapor..... | 177 |
| Produção de vapor..... | 179 |
| Consumo de fuel gás | 180 |
| Consumo de off gás..... | 181 |
| Consumo de Combustível | 182 |
| Consumo de eletricidade | 183 |
| Consumo bruto | 183 |
| Anexo D.3-Destilação de vácuo II | 185 |
| Consumo de vapor 24 barg..... | 185 |
| Consumo de vapor 10.5 barg..... | 186 |
| Consumo de vapor 3.5 barg..... | 187 |
| Consumo de vapor..... | 188 |
| Consumo de fuel gás | 189 |
| Consumo de off gás..... | 190 |
| Consumo de combustível | 191 |
| Consumo de eletricidade | 192 |
| Produção de vapor/Produção de vapor 24 barg/Produção de vapor 3.5 barg..... | 192 |
| Consumo bruto | 194 |
| Anexo D.4- <i>Visbreaker</i> | 195 |

| | |
|---|-----|
| Consumo de vapor 24 barg..... | 195 |
| Consumo de vapor 3.5 barg..... | 195 |
| Consumo de vapor..... | 197 |
| Consumo de fuel gás | 198 |
| Consumo de eletricidade | 199 |
| Produção de vapor/Produção de vapor 24 barg/Produção de vapor 3.5 barg..... | 199 |
| Consumo bruto | 201 |
| Anexo D.5-HD | 202 |
| Consumo de vapor 24 barg..... | 202 |
| Consumo de vapor 10.5 barg..... | 203 |
| Consumo de vapor 3.5 barg..... | 203 |
| Consumo de vapor..... | 205 |
| Consumo de fuel gás | 205 |
| Consumo de eletricidade | 207 |
| Anexo D.6-HG | 208 |
| Consumo de vapor 24 barg..... | 208 |
| Consumo de vapor 10.5 barg..... | 208 |
| Consumo de vapor 3.5 barg..... | 209 |
| Consumo de vapor..... | 210 |
| Produção de vapor/Produção de vapor 3.5 barg..... | 210 |
| Consumo de fuel gás | 211 |
| Consumo de eletricidade | 212 |
| Consumo bruto | 213 |
| Anexo D.7-Unidade de <i>reformer</i> catalítico..... | 214 |
| Consumo de vapor 24 barg..... | 214 |
| Produção de vapor 24 barg..... | 215 |
| Consumo de vapor 10.5 barg..... | 216 |
| Produção de vapor 10.5 barg..... | 217 |
| Produção de vapor 3.5 barg..... | 218 |
| Consumo de vapor..... | 218 |
| Produção de vapor | 219 |
| Consumo de fuel gás | 220 |
| Consumo de eletricidade | 222 |
| Consumo bruto | 222 |
| Anexo D.8-HI..... | 223 |
| Consumo de vapor 24 barg..... | 223 |

| | |
|---|-----|
| Produção de vapor/Produção de vapor 24 barg..... | 224 |
| Consumo de vapor 3.5 barg..... | 225 |
| Consumo de vapor..... | 225 |
| Consumo de tail gás | 226 |
| Consumo de gás natural | 227 |
| Consumo de combustível | 227 |
| Consumo de eletricidade | 228 |
| Consumo bruto | 229 |
| Anexo D.9-Alquilação | 230 |
| Consumo de vapor/Consumo de vapor 24 barg/Consumo de vapor 3.5 barg | 230 |
| Consumo de fuel gás | 231 |
| Consumo de ASO..... | 232 |
| Consumo de combustível | 233 |
| Consumo de eletricidade | 234 |
| Anexo D.10-Desisobutanizadora | 234 |
| Consumo de vapor 3.5 barg..... | 234 |
| Consumo de eletricidade | 235 |
| Anexo D.11-FCC | 236 |
| Consumo de vapor 24 barg..... | 236 |
| Produção de vapor 24 barg..... | 237 |
| Consumo de vapor 10.5 barg..... | 238 |
| Consumo de vapor 3.5 barg..... | 238 |
| Produção de vapor 3.5 barg..... | 239 |
| Consumo de vapor..... | 240 |
| Produção de vapor | 241 |
| Produção/Consumo de eletricidade | 242 |
| Produção da unidade | 243 |
| Consumo de fuel gás | 244 |
| Consumo de coque/Consumo de combustível..... | 244 |
| Consumo bruto | 245 |
| Anexo D.12-HT..... | 246 |
| Consumo de vapor 24 barg..... | 246 |
| Consumo de vapor 3.5 barg..... | 247 |
| Produção de vapor/Produção de vapor 3.5 barg..... | 247 |
| Consumo de vapor..... | 248 |
| Consumo de fuel gás | 249 |

| | |
|---|-----|
| Consumo de eletricidade | 249 |
| Consumo bruto | 250 |
| Anexo D.13-HR | 250 |
| Produção de vapor 24 barg/Produção de vapor | 250 |
| Consumo de vapor 3.5 barg/Consumo de vapor | 251 |
| Consumo de gás natural | 252 |
| Consumo de tail gás | 253 |
| Consumo de combustível | 254 |
| Consumo de eletricidade | 254 |
| Consumo bruto | 255 |
| Anexo D.14-HC | 256 |
| Consumo de vapor 24 barg | 256 |
| Produção de vapor 24 barg | 256 |
| Consumo de vapor 3.5 barg | 258 |
| Produção de vapor 3.5 barg | 258 |
| Consumo de vapor | 259 |
| Produção de vapor | 259 |
| Consumo de fuel gás | 261 |
| Consumo de gás natural | 262 |
| Consumo de combustível | 262 |
| Consumo de eletricidade | 263 |
| Consumo bruto | 263 |
| Anexo D.15-SS | 264 |
| Produção de vapor 24 barg | 264 |
| Produção de vapor 10.5 barg | 265 |
| Produção de vapor 3.5 barg | 265 |
| Consumo de vapor/Consumo de vapor 3.5 barg | 267 |
| Produção de vapor | 267 |
| Consumo de fuel gás | 268 |
| Consumo de tail gás | 269 |
| Consumo de combustível | 269 |
| Consumo de eletricidade | 270 |
| Consumo bruto | 271 |
| Anexo D.16-SB | 271 |
| Produção de vapor 24 barg | 271 |
| Consumo de vapor 24 barg | 272 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| Produção de vapor 3.5 barg..... | 273 |
| Consumo de vapor 3.5 barg..... | 273 |
| Produção de vapor | 274 |
| Consumo vapor | 275 |
| Consumo de fuel gás | 276 |
| Consumo de tail gás | 277 |
| Consumo de combustível | 278 |
| Consumo de eletricidade | 279 |
| Consumo bruto | 279 |
| Anexo D.17-SC | 280 |
| Produção de vapor 24 barg..... | 280 |
| Produção de vapor 3.5 barg..... | 281 |
| Produção de vapor | 282 |
| Consumo de fuel gás | 283 |
| Consumo de tail gás | 284 |
| Consumo de combustível | 285 |
| Consumo de eletricidade | 286 |
| Consumo bruto | 286 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1.1-Processo de conversão.[8] | 3 |
| Figura 1.2-Refinaria de Sines.[11] | 4 |
| Figura 1.3-Constituição geral da refinaria de Sines. | 4 |
| Figura 1.4-Diagrama geral do processo de operação da refinaria de Sines..... | 5 |
| Figura 1.5-Identificação de quartis, em 2016, na europa ocidental..... | 6 |
| Figura 1.6- EII TM da refinaria de Sines. | 6 |
| Figura 1.7- Representação da destilação atmosférica.[13]..... | 7 |
| Figura 1.8-Representação do consumo líquido da destilação atmosférica..... | 8 |
| Figura 1.9-Representação geral do processo da destilação de vácuo I..... | 9 |
| Figura 1.10-Representação do consumo líquido na destilação de vácuo. | 10 |
| Figura 1.11-Representação do processo operacional da destilação de vácuo II..... | 10 |
| Figura 1.12-Representação do consumo líquido da destilação de vácuo II. | 11 |
| Figura 1.13-Diagrama geral do processo de produção de vapor.[16] | 12 |
| Figura 1.14-Representação do consumo líquido do <i>visbreaker</i> | 12 |
| Figura 1.15- Representação da secção de reacção do <i>hydrobon</i> de destilados. | 13 |
| Figura 1.16-Representação do consumo bruto do <i>hydrobon</i> de destilados. | 13 |
| Figura 1.17- Representação da secção de carga e reacção da dessulfuração de gasóleo pesado. 14 | |
| Figura 1.18- Representação do consumo líquido da dessulfuração de gasóleo pesado. | 15 |
| Figura 1.19-Representação do processo de operação da unidade de <i>reformer</i> catalítico..... | 16 |
| Figura 1.20-Representação do consumo líquido da unidade de <i>reformer</i> catalítico. | 16 |
| Figura 1.21- Representação do processo de obtenção de hidrogénio..... | 17 |
| Figura 1.22- Esquema do consumo líquido da HI. | 17 |
| Figura 1.23- Representação do processo operacional da alquilação.[21] | 18 |
| Figura 1.24- Representação da distribuição de utilidades na alquilação..... | 18 |
| Figura 1.25- Representação da distribuição de utilidades na desisobutanizadora..... | 19 |
| Figura 1.26-Diagrama processual simplificado do FCC. | 20 |
| Figura 1.27-Representação do consumo líquido no FCC..... | 20 |
| Figura 1.28-Diagrama geral da secção de carga e reacção do HT. | 20 |
| Figura 1.29-Representação esquemática do consumo líquido da unidade. | 21 |
| Figura 1.30-Representação do processo de produção de hidrogénio na fábrica III. | 21 |
| Figura 1.31- Representação do consumo líquido do HR..... | 22 |
| Figura 1.32-Representação da secção de fraccionamento do HC. | 22 |
| Figura 1.33-Representação do consumo líquido do HC..... | 23 |
| Figura 1.34-Representação do consumo líquido da SS..... | 24 |
| Figura 1.35-Representação do consumo líquido da SB. | 24 |
| Figura 1.36-Representação do consumo líquido da SC. | 24 |
| Figura 2.1-Esquematisação de perguntas essenciais. | 27 |
| Figura 2.2-Representação da solução de um problema de aglomeração..... | 28 |
| Figura 2.3-Representação do processo PCA.[43] | 31 |
| Figura 2.4-Fontes de consumo na refinaria. | 33 |
| Figura 2.5-Separação do conjunto de dados original.[73]..... | 42 |
| Figura 2.6-Comparação entre modelos com diferentes dados.[74]..... | 42 |
| Figura 2.7-Tipos de <i>cross validation</i> | 43 |
| Figura 2.8-Método <i>k-fold</i> . [73]..... | 43 |

| | |
|---|----|
| Figura 3.1- Esquema da resolução do problema de obtenção dos tipos de programa de fabrico. | 47 |
| Figura 3.2-Esquema para a concretização do primeiro objectivo da dissertação. | 50 |
| Figura 3.3-Esquema dos passos utilizados, de forma a obter um modelo capaz de entender o comportamento do EII TM | 52 |
| Figura 4.1-Representação das variáveis significativas..... | 55 |
| Figura 4.2-Representação da relação entre a densidade e o caudal do RAT..... | 56 |
| Figura 4.3-Aglomerações obtidas através do método <i>k-means clustering</i> | 56 |
| Figura 4.4-Principal Component analysis. | 57 |
| Figura 4.5-Contribuição das variáveis nos componentes principais. | 57 |
| Figura 4.6-Distinção entre programas de fabrico. | 58 |
| Figura 4.7-Diferenciação da carga da destilação atmosférica, para os diferentes programas de fabrico. | 59 |
| Figura 4.8-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade..... | 61 |
| Figura 4.9-Comparação entre modelos obtidos na dissertação e estabelecidos pela refinaria. ... | 61 |
| Figura 4.10-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade..... | 63 |
| Figura 4.11-Comparação entre o modelo obtido na dissertação e os estabelecidos pela refinaria. | 64 |
| Figura 4.12-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade..... | 66 |
| Figura 4.13-Comparação entre os modelos obtidos na dissertação e os estabelecidos pela refinaria. | 66 |
| Figura 4.14-Comparação entre modelos obtidos na dissertação e produzidos pela refinaria..... | 67 |
| Figura 4.15-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade..... | 69 |
| Figura 4.16-Comparação entre os modelos obtidos na dissertação e os estabelecidos pela refinaria. | 69 |
| Figura 4.17-Comparação de modelos obtidos na dissertação e estabelecidos pela refinaria. | 70 |
| Figura 4.18-Comportamento do consumo líquido das unidades integradas e da quantidade de carga da destilação de vácuo II. | 71 |
| Figura 4.19-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade..... | 72 |
| Figura 4.20-Comparação entre modelos obtidos na dissertação e estabelecidos pela refinaria. . | 73 |
| Figura 4.21-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade..... | 74 |
| Figura 4.22-Comparação de modelos obtidos na dissertação e estabelecidos pela refinaria. | 75 |
| Figura 4.23-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade..... | 76 |
| Figura 4.24-Comparação entre o modelo obtido na dissertação e os estabelecidos pela refinaria. | 77 |
| Figura 4.25-Comportamento do consumo líquido e da quantidade produzida de hidrogénio na unidade. | 79 |
| Figura 4.26-Comparação entre modelos obtidos na dissertação e estabelecidos pela refinaria. . | 79 |
| Figura 4.27-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de alquilado para armazenagem..... | 81 |
| Figura 4.28-Comparação entre modelos obtidos na dissertação e estabelecidos pela refinaria. . | 81 |
| Figura 4.29-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade..... | 83 |
| Figura 4.30-Comparação entre o modelo obtido na dissertação e os modelos estabelecidos pela refinaria. | 83 |
| Figura 4.31-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade..... | 85 |
| Figura 4.32-Comparação entre modelos obtidos na dissertação e estabelecidos pela refinaria. . | 85 |
| Figura 4.33-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade..... | 87 |
| Figura 4.34-Comparação entre modelos obtidos na dissertação e modelos estabelecidos pela refinaria. | 87 |

| | |
|---|-----|
| Figura 4.35-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de hidrogénio produzido. ... | 89 |
| Figura 4.36-Comparação entre modelos obtidos na dissertação e estabelecidos pela refinaria. . | 89 |
| Figura 4.37-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade..... | 91 |
| Figura 4.38-Comparação entre modelos obtidos na dissertação e estabelecidos pela refinaria. . | 91 |
| Figura 4.39-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de enxofre produzido. | 93 |
| Figura 4.40-Comparação entre modelos lineares. | 94 |
| Figura 4.41-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de enxofre produzido. | 96 |
| Figura 4.42-Comparação de modelos lineares. | 96 |
| Figura 4.43-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de enxofre produzido. | 98 |
| Figura 4.44-Comparação entre modelos obtidos na dissertação e estabelecidos pela refinaria. . | 98 |
| Figura 4.45-Comparação de programas de fabrico. | 100 |
| Figura 4.46-Comparação entre valores calculados e reais. | 101 |
| Figura 4.47-Comparação entre valores calculados e reais. | 102 |
| Figura 4.48-Redução de dimensionalidade através do PCA. | 102 |
| Figura 4.49-Comparação entre modelos. | 103 |
| Figura 4.50-Teste do modelo significativo..... | 103 |
| Figura 4.51-Comparação entre coeficientes normalizados. | 104 |
| Figura 4.52-Método <i>random forest</i> | 106 |
| Figura 4.53-Comparação entre modelos. | 107 |
| Figura 4.54-Teste do modelo inicial validado..... | 108 |
| Figura 4.55-Comparação entre modelos. | 109 |
| Figura 4.56-Teste do modelo validado..... | 109 |
| Figura 4.57-Comparação entre coeficientes normalizados. | 110 |
| Figura 4.58-Comparação entre modelos. | 112 |
| Figura 4.59-Teste do modelo validado..... | 112 |
| Figura 4.60-Comparação entre coeficientes normalizados. | 113 |
| Figura 4.61-Integração do modelo preditivo no gráfico de acompanhamento diário do EII™.. | 115 |
| Figura 4.62-Comparação entre valores reais e calculados. | 115 |
| Figura 4.63-Comparação entre valores reais e calculados. | 116 |
| Figura 4.64-Teste do modelo validado..... | 117 |
| Figura D.1.1-Comportamento do consumo 24 barg e da quantidade de carga da unidade. | 161 |
| Figura D.1.2-Comparação de modelos lineares. | 162 |
| Figura D.1.3-Comportamento do consumo 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade. ... | 162 |
| Figura D.1.4-Comparação de modelos lineares. | 163 |
| Figura D.1.5-Comportamento da produção 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade.... | 164 |
| Figura D.1.6-Comparação de modelos lineares. | 164 |
| Figura D.1.7-Comportamento do consumo 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 165 |
| Figura D.1.8-Comparação de modelos lineares. | 165 |
| Figura D.1.9-Comportamento da produção 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 166 |
| Figura D.1.10-Temperatura ambiente. | 167 |
| Figura D.1.11-Comparação dos modelos lineares..... | 167 |
| Figura D.1.12-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade. .. | 168 |
| Figura D.1.13-Comparação dos modelos lineares..... | 168 |
| Figura D.1.14-Comportamento da produção de vapor e da quantidade de carga da unidade. .. | 169 |
| Figura D.1.15-Comparação dos modelos lineares..... | 170 |
| Figura D.1.16-Comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade. | 170 |
| Figura D.1.17-Efeito de <i>fouling</i> na destilação atmosférica. | 171 |

| | |
|---|-----|
| Figura D.1.18-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de carga da unidade. | 172 |
| Figura D.1.19-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade. | 172 |
| Figura D.1.20-Comparação dos modelos lineares. | 173 |
| Figura D.2.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade. | 174 |
| Figura D.2.2-Comparação entre modelos lineares. | 174 |
| Figura D.2.3-Comportamento do consumo de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 175 |
| Figura D.2.4-Comportamento da produção de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 176 |
| Figura D.2.5-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 176 |
| Figura D.2.6-Comparação entre modelos lineares. | 177 |
| Figura D.2.7-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade. | 178 |
| Figura D.2.8-Comparação entre modelos lineares. | 178 |
| Figura D.2.9-Comportamento da produção de vapor e da quantidade de carga da unidade. | 179 |
| Figura D.2.10-Comparação entre modelos lineares. | 179 |
| Figura D.2.11-Comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade. | 180 |
| Figura D.2.12-Comparação entre modelos lineares. | 181 |
| Figura D.2.13-Comportamento do consumo de off gás e da quantidade de carga da unidade. | 181 |
| Figura D.2.14-Comparação entre modelos lineares. | 182 |
| Figura D.2.15-Comportamento do consumo de combustível e da quantidade de carga da unidade. | 182 |
| Figura D.2.16-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de carga da unidade. | 183 |
| Figura D.2.17-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade. | 184 |
| Figura D.2.18-Comparação de modelos lineares. | 184 |
| Figura D.3.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade. | 185 |
| Figura D.3.2-Comparação entre modelos lineares. | 186 |
| Figura D.3.3-Comportamento do consumo de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 186 |
| Figura D.3.4-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 187 |
| Figura D.3.5-Comparação entre modelos lineares. | 188 |
| Figura D.3.6-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade. | 188 |
| Figura D.3.7-Comparação entre modelos lineares. | 189 |
| Figura D.3.8-Comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade. | 189 |
| Figura D.3.9-Comparação de modelos lineares. | 190 |
| Figura D.3.10-Comportamento do consumo de off gás e da quantidade de carga da unidade. | 190 |
| Figura D.3.11-Comportamento do consumo de combustível e da quantidade de carga da unidade. | 191 |
| Figura D.3.12-Comparação de modelos lineares. | 191 |
| Figura D.3.13-Comportamento do consumo de eletricidade médio e da quantidade média de carga da unidade. | 192 |
| Figura D.3.14-Comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade. | 193 |

| | |
|---|-----|
| Figura D.3.15-Comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 193 |
| Figura D.3.16-Comportamento da produção de vapor e da quantidade de carga da unidade. ... | 193 |
| Figura D.3.17-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade. | 194 |
| Figura D.3.18-Comparação entre modelos lineares. | 194 |
| Figura D.4.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade. | 195 |
| Figura D.4.2-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 196 |
| Figura D.4.3-Comparação de modelos lineares. | 196 |
| Figura D.4.4-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade. | 197 |
| Figura D.4.5-Comparação de modelos lineares. | 197 |
| Figura D.4.6-Comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade. .. | 198 |
| Figura D.4.7-Comparação de modelos lineares. | 198 |
| Figura D.4.8-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de carga da unidade. | 199 |
| Figura D.4.9-Comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade. | 200 |
| Figura D.4.10-Comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 200 |
| Figura D.4.11-Comportamento da produção de vapor e da quantidade de carga da unidade. ... | 200 |
| Figura D.4.12-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade. | 201 |
| Figura D.4.13-Comparação de modelos lineares. | 202 |
| Figura D.5.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade. | 202 |
| Figura D.5.2-Comportamento do consumo de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 203 |
| Figura D.5.3-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 204 |
| Figura D.5.4-Comparação de modelos lineares. | 204 |
| Figura D.5.5-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade. | 205 |
| Figura D.5.6-Comportamento do fuel gás e da quantidade de carga da unidade. | 206 |
| Figura D.5.7-Comparação entre modelos lineares. | 206 |
| Figura D.5.8-Efeito de <i>fouling</i> no HD. | 207 |
| Figura D.5.9-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de carga da unidade. | 207 |
| Figura D.6.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade. | 208 |
| Figura D.6.2-Comportamento do consumo de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 208 |
| Figura D.6.3-Comparação de modelos lineares. | 209 |
| Figura D.6.4-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 209 |
| Figura D.6.5-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade. | 210 |
| Figura D.6.6-Comportamento da produção de vapor e da quantidade de carga da unidade. | 210 |
| Figura D.6.7-Comportamento do fuel gás e da quantidade de carga da unidade. | 211 |
| Figura D.6.8-Comparação de modelos lineares. | 212 |

| | |
|---|-----|
| Figura D.6.9-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de carga da unidade. | 212 |
| Figura D.6.10-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade. | 213 |
| Figura D.6.11-Comparação entre modelos lineares. | 213 |
| Figura D.7.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade. | 214 |
| Figura D.7.2-Comparação de modelos lineares. | 215 |
| Figura D.7.3-Comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade. | 215 |
| Figura D.7.4-Comparação de modelos lineares. | 216 |
| Figura D.7.5-Comportamento do consumo de vapor 10.5 barg. | 216 |
| Figura D.7.6-Comparação de modelos lineares. | 217 |
| Figura D.7.7-Comportamento da produção de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 217 |
| Figura D.7.8-Comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 218 |
| Figura D.7.9-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga. | 219 |
| Figura D.7.10-Comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade. | 219 |
| Figura D.7.11-Comparação entre modelos lineares. | 220 |
| Figura D.7.12-Comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade. | 221 |
| Figura D.7.13-Comparação entre modelos lineares. | 221 |
| Figura D.7.14-Comportamento do consumo de eletricidade e quantidade de carga da unidade. | 222 |
| Figura D.7.15-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade. | 222 |
| Figura D.7.16-Comparação de modelos lineares. | 223 |
| Figura D.8.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da produção de hidrogénio da unidade. | 224 |
| Figura D.8.2-Comportamento da produção de vapor e da quantidade produzida de hidrogénio na unidade. | 224 |
| Figura D.8.3-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade produzida de hidrogénio na unidade. | 225 |
| Figura D.8.4-Comportamento do consumo de vapor e da produção de hidrogénio da unidade. | 226 |
| Figura D.8.5-Comportamento do consumo de tail gás e da produção de hidrogénio da utilidade. | 226 |
| Figura D.8.6-Comportamento do consumo de gás natural e da produção de hidrogénio da unidade. | 227 |
| Figura D.8.7-Comportamento do consumo de combustível e da produção de hidrogénio da unidade. | 227 |
| Figura D.8.8-Comparação entre modelos lineares. | 228 |
| Figura D.8.9-Comportamento do consumo de eletricidade e da produção de hidrogénio da unidade. | 228 |
| Figura D.8.10-Comportamento do consumo bruto e da quantidade produzida de hidrogénio na unidade. | 229 |
| Figura D.8.11-Comportamento do consumo bruto e da quantidade produzida de hidrogénio na unidade. | 229 |

| | |
|--|-----|
| Figura D.9.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de alquilado para armazenagem..... | 230 |
| Figura D.9.2-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de alquilado para armazenagem..... | 230 |
| Figura D.9.3-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de alquildo para armazenagem..... | 231 |
| Figura D.9.4-Comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de alquilado para armazenagem..... | 231 |
| Figura D.9.5-Comparação entre modelos lineares. | 232 |
| Figura D.9.6-Comportamento do consumo de ASO e da quantidade armazenada de alquilado. | 232 |
| Figura D.9.7-Comportamento do consumo de combustível e da quantidade de alquilado para armazenagem..... | 233 |
| Figura D.9.8-Comparação de modelos lineares. | 233 |
| Figura D.9.9-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de alquilado para armazenagem..... | 234 |
| Figura D.10.1-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 235 |
| Figura D.10.2-Comportamento de consumo de eletricidade e da quantidade de carga da unidade. | 235 |
| Figura D.11.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade. | 236 |
| Figura D.11.2-Comparação de modelos lineares. | 236 |
| Figura D.11.3-Comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade. | 237 |
| Figura D.11.4-Comparação entre modelos lineares. | 237 |
| Figura D.11.5-Comportamento do consumo de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 238 |
| Figura D.11.6-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 239 |
| Figura D.11.7-Comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 239 |
| Figura D.11.8-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade. .. | 240 |
| Figura D.11.9-Comparação entre modelos lineares. | 240 |
| Figura D.11.10-Comportamento da produção de vapor e da quantidade de carga da unidade. | 241 |
| Figura D.11.11-Comparação entre modelos lineares. | 241 |
| Figura D.11.12-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de carga da unidade. | 242 |
| Figura D.11.13-Comportamento da produção de eletricidade e da quantidade de carga da unidade. | 242 |
| Figura D.11.14-Comportamento da produção e da quantidade de carga da unidade. | 243 |
| Figura D.11.15-Comparação entre modelos lineares. | 243 |
| Figura D.11.16-Comportamento do consumo de coque e da quantidade de carga da unidade. | 244 |
| Figura D.11.17-Comparação entre modelos lineares. | 245 |
| Figura D.11.18-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade..... | 245 |
| Figura D.11.19-Comparação entre modelos lineares. | 246 |
| Figura D.12.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade. | 246 |

| | |
|---|-----|
| Figura D.12.2-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 247 |
| Figura D.12.3-Comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 248 |
| Figura D.12.4-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade. .. | 248 |
| Figura D.12.5-Comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade. | 249 |
| Figura D.12.6-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de carga da unidade. | 249 |
| Figura D.12.7-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade. | 250 |
| Figura D.13.1-Comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de hidrogénio produzido..... | 251 |
| Figura D.13.2-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 251 |
| Figura D.13.3-Comparação entre modelos lineares. | 252 |
| Figura D.13.4-Comportamento do consumo de gás natural e da quantidade produzida de hidrogénio. | 252 |
| Figura D.13.5-Comparação de modelos lineares. | 253 |
| Figura D.13.6-Comportamento do consumo de tail gás e da quantidade de hidrogénio produzido..... | 253 |
| Figura D.13.7-Comportamento do consumo de combustível e da quantidade de hidrogénio produzido..... | 254 |
| Figura D.13.8-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de hidrogénio produzido..... | 255 |
| Figura D.13.9-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de hidrogénio produzido. | 255 |
| Figura D.14.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade. | 256 |
| Figura D.14.2-Comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade. | 257 |
| Figura D.14.3-Comparação entre modelos lineares. | 257 |
| Figura D.14.4-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 258 |
| Figura D.14.5-Comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade. | 258 |
| Figura D.14.6-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade. .. | 259 |
| Figura D.14.7-Comportamento da produção de vapor e da quantidade de carga da unidade. .. | 260 |
| Figura D.14.8-Comparação entre modelos lineares. | 260 |
| Figura D.14.9-Comportamento de consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade. | 261 |
| Figura D.14.10-Efeito de fouling no HC..... | 261 |
| Figura D.14.11-Comportamento do consumo de gás natural e da quantidade de carga da unidade. | 262 |
| Figura D.14.12-Comportamento do consumo de combustível e da quantidade de carga da unidade. | 262 |
| Figura D.14.13-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de carga da unidade. | 263 |
| Figura D.14.14-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade..... | 264 |
| Figura D.15.1-Comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de enxofre produzido..... | 264 |

| | |
|--|-----|
| Figura D.15.2-Comportamento da produção de vapor 10.5 barg e da quantidade de enxofre produzido..... | 265 |
| Figura D.15.3-Comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de enxofre produzido..... | 266 |
| Figura D.15.4-Comparação entre modelos lineares. | 266 |
| Figura D.15.5-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de enxofre produzido. | 267 |
| Figura D.15.6-Comportamento da produção de vapor e da quantidade de enxofre produzido. | 267 |
| Figura D.15.7-Comparação entre modelos lineares. | 268 |
| Figura D.15.8-Comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de enxofre produzido. | 268 |
| Figura D.15.9-Comportamento do tail gás e da quantidade produzida de enxofre. | 269 |
| Figura D.15.10-Comportamento do consumo de combustível e da quantidade de enxofre produzido..... | 270 |
| Figura D.15.11-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade produzida de enxofre..... | 270 |
| Figura D.15.12-Comportamento do consumo bruto e da quantidade produzida de enxofre..... | 271 |
| Figura D.16.1-Comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de enxofre produzido..... | 271 |
| Figura D.16.2-Comparação entre modelos lineares. | 272 |
| Figura D.16.3-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de enxofre produzido..... | 272 |
| Figura D.16.4-Comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de enxofre produzido..... | 273 |
| Figura D.16.5-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de enxofre produzido..... | 274 |
| Figura D.16.6-Comportamento da produção de vapor e da quantidade de enxofre produzido. | 274 |
| Figura D.16.7-Comparação entre modelos lineares. | 275 |
| Figura D.16.8-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de enxofre produzido. | 275 |
| Figura D.16.9-Comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de enxofre produzido. | 276 |
| Figura D.16.10-Comparação entre modelos lineares. | 276 |
| Figura D.16.11-Comportamento do consumo de tail gás e da quantidade de enxofre produzido. | 277 |
| Figura D.16.12-Comparação de modelos lineares. | 277 |
| Figura D.16.13-Comportamento do consumo de combustível e da quantidade de carga da unidade. | 278 |
| Figura D.16.14-Comparação de modelos lineares. | 278 |
| Figura D.16.15-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de enxofre produzido..... | 279 |
| Figura D.16.16-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de enxofre produzido. ... | 279 |
| Figura D.17.1-Comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de enxofre produzido..... | 280 |
| Figura D.17.2-Comparação de modelos lineares. | 281 |
| Figura D.17.3-Comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de enxofre produzido..... | 281 |
| Figura D.17.4-Comparação entre modelos lineares. | 282 |
| Figura D.17.5-Comportamento da produção de vapor e da quantidade de enxofre produzido. | 282 |
| Figura D.17.6-Comparação entre modelos lineares. | 283 |

| | |
|---|-----|
| Figura D.17.7-Comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de enxofre produzido. | 283 |
| Figura D.17.8-Comparação entre modelos lineares. | 284 |
| Figura D.17.9-Comportamento do consumo de tail gás e da quantidade de enxofre produzido. | 284 |
| Figura D.17.10-Comportamento do consumo de combustível e da quantidade de enxofre produzido. | 285 |
| Figura D.17.11-Comparação entre modelos lineares. | 285 |
| Figura D.17.12-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de enxofre produzido. | 286 |
| Figura D.17.13-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de enxofre produzido. ... | 286 |
| Figura D.17.14-Comparação de modelos lineares. | 287 |

Índice de tabelas

| | |
|---|-----|
| Tabela 3.1-Entalpia dos diferentes tipos de vapor. | 48 |
| Tabela 3.2- Conversão de utilidades. | 48 |
| Tabela 3.3- Conversão de utilidades. | 48 |
| Tabela 4.1- Comparação entre valores reais e obtidos. | 59 |
| Tabela 4.2- Comparação entre valores reais e obtidos. | 62 |
| Tabela 4.3- Comparação entre valores reais e obtidos. | 64 |
| Tabela 4.4- Comparação entre valores reais e obtidos. | 68 |
| Tabela 4.5- Comparação entre valores obtidos e reais. | 71 |
| Tabela 4.6- Comparação entre valores reais e obtidos. | 73 |
| Tabela 4.7- Comparação entre valores reais e obtidos. | 75 |
| Tabela 4.8- Comparação entre valores obtidos e reais. | 78 |
| Tabela 4.9- Comparação entre valores obtidos e reais. | 80 |
| Tabela 4.10- Comparação entre valores obtidos e reais. | 82 |
| Tabela 4.11- Comparação entre valores obtidos e reais. | 84 |
| Tabela 4.12- Comparação entre valores obtidos e reais. | 86 |
| Tabela 4.13- Comparação entre valores reais e obtidos. | 88 |
| Tabela 4.14- Comparação entre valores obtidos e reais. | 90 |
| Tabela 4.15- Comparação entre valores reais e calculados. | 92 |
| Tabela 4.16- Comparação entre valores reais e calculados. | 94 |
| Tabela 4.17- Comparação entre valores reais e calculados. | 97 |
| Tabela 4.18- Resultados do primeiro objectivo da dissertação. | 99 |
| Tabela 4.19- Otimização do modelo. | 101 |
| Tabela 4.20- Variáveis mais influenciáveis no cálculo do EII TM | 104 |
| Tabela 4.21- Variáveis influenciáveis. | 107 |
| Tabela 4.22- Otimização do modelo. | 108 |
| Tabela 4.23- Variáveis mais influenciáveis no cálculo do EII TM | 110 |
| Tabela 4.24- Eliminação de <i>outliers</i> | 111 |
| Tabela 4.25- Otimização do modelo. | 111 |
| Tabela 4.26- Variáveis mais influenciáveis no cálculo do EII TM | 114 |
| Tabela 4.27- Variáveis mais influenciáveis no modelo. | 118 |
| Tabela 4.28- Variáveis mais influenciáveis no modelo. | 119 |
| Tabela A.1- Identificação de equipamentos da destilação atmosférica.[81] | 131 |
| Tabela A.2- Identificação de equipamentos na destilação de vácuo I.[82] | 133 |
| Tabela A.3- Identificação de equipamentos na destilação de vácuo II.[83] | 134 |
| Tabela A.4- Identificação de equipamentos no visbreaker.[84] | 135 |
| Tabela A.5- Identificação de equipamentos no hydrobon de destilados.[85] | 136 |
| Tabela A.6- Identificação de equipamentos na dessulfuração de gasóleo pesado. | 137 |
| Tabela A.7- Identificação de equipamentos na unidade de reformer catalítico.[86] | 139 |
| Tabela A.8- Identificação de equipamentos no HI. | 141 |
| Tabela A.9- Identificação de equipamentos na alquilação.[87] | 142 |
| Tabela A.10- Identificação de equipamentos no FCC.[88] | 146 |
| Tabela A.11- Identificação de equipamentos na HT.[89] | 149 |
| Tabela A.12- Identificação de equipamentos na HR. | 151 |
| Tabela A.13- Identificação de equipamentos no HC. | 151 |

| | |
|---|-----|
| Tabela B.1-Pacotes utilizados na dissertação..... | 154 |
| Tabela C.1-TAGS utilizadas na diferenciação dos tipos de programa..... | 156 |
| Tabela C.2-TAGS utilizadas no estudo do consumo energético da destilação atmosférica..... | 156 |
| Tabela C.3-TAGS utilizadas no estudo das variáveis significativas..... | 156 |
| Tabela C.4-TAGS utilizadas para obtenção de valores das variáveis constituintes do modelo macro..... | 159 |

Lista de abreviaturas

| Abreviatura | Significado |
|-------------------|---|
| AL | Alquilação |
| ASO | <i>Acid Soluble Oil</i> |
| CC | Destilação atmosférica |
| CV | Destilação de vácuo I |
| DBSCAN | Aglomerações baseadas em densidade espacial de aplicações com ruído |
| DCS | Sistema de controlo distribuído |
| DiC4 | Desisobutanizadora |
| EII TM | Índice de intensidade de energia |
| FCC | <i>Fluid Cracking Catalytic</i> |
| HC | <i>Hydrocracker</i> |
| HCN | Nafta pesada de <i>cracking</i> catalítico |
| HD | <i>Hydrobon</i> de destilados |
| HG | Dessulfuração de gasóleo pesado |
| HGO | Gasóleo pesado |
| HI | Produção de hidrogénio da fábrica I |
| HN | <i>Hydrobon</i> de Nafta |
| HR | Produção de hidrogénio da fábrica III |
| HT | Dessulfuração gasolina de <i>cracking</i> |
| ICA | Análise de componentes independentes |
| ISBL | Interior da bateria limite |
| KPCA | Análise de componentes principais através de métodos Kernel |
| LCN | Nafta leve de <i>cracking</i> catalítico |
| LPG | Gás de petróleo liquefeito |
| PBL | <i>Plant base load</i> |
| PCA | Análise de componentes principais |
| PCI | Poder calorífico inferior |
| PL | Programação linear |
| PP | <i>Platforming</i> |
| R ² | Coeficiente de determinação |
| RAT | Resíduo atmosférico |
| SB | Recuperação de enxofre II |
| SC | Recuperação de enxofre III |
| SS | Recuperação de enxofre I |
| TAGS | Identificativos de variáveis processuais |
| VB | <i>Visbreaker</i> |
| VGO | Gasóleo de vácuo |
| VV | Destilação de vácuo II |

Capítulo 1-Enquadramento e motivação

1.1 Contextualização do problema

A Galp é a única empresa refinadora em Portugal, sendo também a principal distribuidora de produtos petrolíferos e gás natural do país.[1] As suas atividades estão organizadas em três sectores de negócio (Exploração & Produção, Refinação & Distribuição, *Gas & Power*), sendo o sector de refinação, constituído pelas refinarias de Sines e Matosinhos, o sector industrial nacional com maior capacidade de exportação. [2] O mercado referente a este sector tem-se tornado cada vez mais competitivo, sendo algumas das principais causas: [2, 3]

- Evolução da tecnologia utilizada pelas refinarias;
- Maior utilização de fontes alternativas;
- Facilidade de transportes de matérias primas e parcerias;
- Complexidade de medidas legislativas;
- Diferenças significativas entre produção e procura nos diferentes mercados;
- Aumento do custo de obtenção da matéria prima e diminuição consequente da margem bruta.

De modo a tornar a empresa o mais competitiva possível no mercado nacional, europeu e internacional, é necessário aumentar a margem bruta desta, reduzindo consequentemente as suas despesas operacionais. A nível de refinarias, essas despesas podem ser divididas em dois sectores:

- O sector energético, sendo que este representa entre 18% a 82% das despesas operacionais das refinarias, constituindo mais de 60% das despesas na refinaria de Sines:[4]
- O sector não energético, que apesar de representar uma menor parcela das despesas operacionais, constitui a diferença principal entre o mercado asiático e os restantes.[2]

De modo a reduzir os custos energéticos das refinarias, a HSB Solomon Associates LLC criou um índice de análise de performance energética, designado por EII™. Esta métrica de desempenho energético permite normalizar variações de configuração e dimensão das refinarias tornando, assim, comparáveis os respectivos desempenhos energéticos face a outros pares na mesma região.[4]

Considerando que, um ponto percentual de EII™ na refinaria de Sines equivale a 10.35 Gcal/h e sendo o Poder calorífico inferior (PCI) e o preço atual médio do gás natural para atividades do sector de refinação, respectivamente, cerca de 11820 Kcal/Kg e 385€/ton,[5] pode-se concluir que em termos monetários a redução de um ponto percentual deste índice representa uma poupança de 2.95 milhões de euros por ano nas despesas da refinaria. Sendo esta uma razão acrescida para identificar as variáveis que afetam o EII™, este é calculado através da seguinte equação:

$$EII^{\text{TM}} = \frac{\text{Consumo atual de energia}}{\text{Energia standard} * \text{dias de estudo}} * 100$$

Equação 1.1- Cálculo do EII™.[6]

Em que:

- Consumo atual de energia, kBtu;
- Energia standard, kBtu/dia.

Através da desconstrução da equação 1.1, pode-se verificar que bastantes variáveis da refinaria são aglomeradas neste cálculo, sendo a energia *standard* e o consumo atual de energia, respectivamente, obtidos através das equações 1.2 e 1.3.

$$\text{Energia standard} = \sum_{\text{Unidades processuais}} (\text{Capacidade da unidade} * \text{Utilização} * \text{Factor EII}) + \text{Energia das utilidades e off sites} + \text{Calor sensível de não crude} + 200 * \text{produção de asfalto}$$

Equação 1.2-Cálculo da Energia standard.[7]

Sendo:

- Capacidade da unidade, kBtu/dia;
- Energia das utilidades e off sites, kBtu/dia;
- Calor sensível de não crude, kBtu/dia;
- Produção de asfalto, kBtu/dia.

$$\begin{aligned} \text{Consumo atual de energia} &= \text{Compras totais e transferências} + \text{produção} - \text{vendas} - \text{transferências para fora} = \\ &= \text{Consumo atual de energia térmica} + 9.09 * \text{consumo de electricidade comprada} + \text{ajustes elétricos} \end{aligned}$$

Equação 1.3- Cálculo do consumo atual de energia.[6]

Em que:

- Compras totais e transferências, kBtu;
- Produção, kBtu;
- Vendas, kBtu;
- Transferências para fora, kBtu;
- Consumo atual de energia térmica, kBtu;
- Consumo de electricidade comprada, MWh;
- Ajustes elétricos, kBtu.

Apesar de o efeito de relações simples ser observável através destas equações, como por exemplo o efeito da quantidade de carga ou do consumo líquido de uma unidade no EIITM; relações mais complexas, como por exemplo o efeito do programa de fabrico de uma refinaria ou da temperatura ambiente no mesmo, não se podem observar exclusivamente com base nessas equações, uma vez que estas relações não se encontram definidas.

Em suma, as refinarias lidam com uma enorme quantidade de variáveis no seu dia a dia. Porém, a análise de grande parte destas torna-se difícil, por não ser possível isolar os seus efeitos individuais. Torna-se assim difícil antecipar o impacto de determinadas variáveis no EIITM. Por forma a permitir uma evolução do aparelho refinador, de uma postura reativa para proativa em termos de EIITM e a otimizar-lo do ponto de vista financeiro e, se possível, de eficiência em relação ao processo operacional, é realizada ao longo da dissertação uma análise estatística inovadora, nomeadamente da influência de variáveis da refinaria de Sines e das suas relações no EIITM, resultando na identificação de possíveis alterações nas variáveis controláveis da refinaria, de modo a diminuir as despesas energéticas da mesma.

1.2 Caso de estudo

Apesar do aparelho refinador da empresa Galp ser constituído pelas refinarias de Sines e Matosinhos, o caso analisado nesta dissertação é referente à refinaria de Sines, pois em termos de custos energéticos a refinaria de Matosinhos encontra-se no melhor patamar possível a nível europeu, por oposição à refinaria de Sines. Note-se que em termos de processo de operação, ambas tiveram re-conversões, de modo a ajustar o perfil de produção às necessidades do mercado, maximizando a produção anual de gasóleo e diminuindo a produção de fuel óleo.

A concretização do projecto de conversão permitiu à Galp o aumento da complexidade do seu aparelho refinador, tendo o índice de complexidade “Nelson” passado de 9,4 para 10,7 na refinaria de Matosinhos e de 6,3 para 7,7 na refinaria de Sines.[8] Este índice é uma medida que compara as refinarias, em termos de complexidade, e a capacidade de uma conversão secundária da refinaria, com a capacidade de uma destilação primária.

$$NCI = \sum_{i=1}^N F_i * \frac{C_i}{C_{CDU}}$$

Equação 1.4- Índice de “Nelson”. [9]

Sendo que:

- NCI, Índice de complexidade de Nelson;
- N, Número de unidades processuais;
- F_i , Factor de complexidade;
- C_i , Capacidade da unidade;
- C_{CDU} , Capacidade da unidade de destilação de crude.

A figura 1.1 representa o processo de conversão entre as duas refinarias, em que a refinaria de Matosinhos envia gasóleo de vácuo (VGO) e gasóleo pesado (HGO) para servirem como carga principalmente, no *Hydrocracker* (HC).

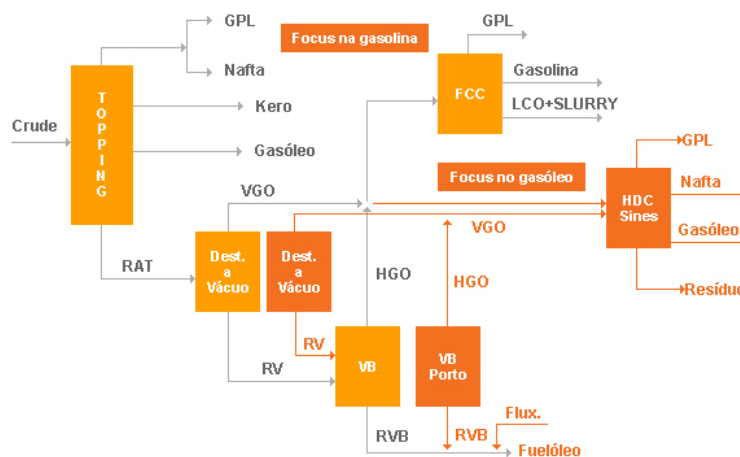


Figura 1.1-Processo de conversão.[8]

1.2.1 Refinaria de Sines

A refinaria de Sines, constituída por 34 unidades processuais, é uma das duas existentes em Portugal e das maiores da Europa, com uma capacidade de destilação de 10,9 milhões de toneladas por ano, ou seja, 220 mil barris por dia. Esta iniciou a sua operação em 1978, encontrando-se estrategicamente localizada na rota mundial mais movimentada de petroleiros. A refinaria possui uma área de 320 hectares e uma capacidade de armazenagem de 3 milhões de metros cúbicos, dos quais 1,5 milhões armazenam petróleo bruto, sendo os restantes 1.5 milhões, utilizados para armazenar produtos intermédios e finais.[10]



Figura 1.2-Refinaria de Sines.[11]

A figura 1.3 representa um esquema simplificado das secções principais da refinaria, sendo que:

- A fábrica I apresenta como principais unidades processuais: a destilação atmosférica (CC), a destilação de vácuo I (CV), as dessulfurações e a unidade de reformer catalítico;
- A fábrica II apresenta como principais unidades: a destilação de vácuo II (VV), o *visbreaker* (VB), o *fluid cracking catalytic* (FCC) e a alquilação (AL);
- A fábrica III apresenta como principal unidade o *hydrocracker*;
- A central de cogeração tem como objectivo a produção de vapor e energia elétrica para a refinaria e para a rede elétrica.



Figura 1.3-Constituição geral da refinaria de Sines.

A figura 1.4, por outro lado, representa o processo de operação atual da refinaria de Sines, do qual a unidade Isomax (IX) não se encontra apresentada, uma vez que não será mais operada, porém no futuro poderão ser aproveitados alguns dos seus equipamentos.

Quanto aos produtos da refinaria, apenas dois não são actualmente produzidos, estes são:

- A gasolina IX, devido à paragem de funcionamento da unidade Isomax;
- O betume.

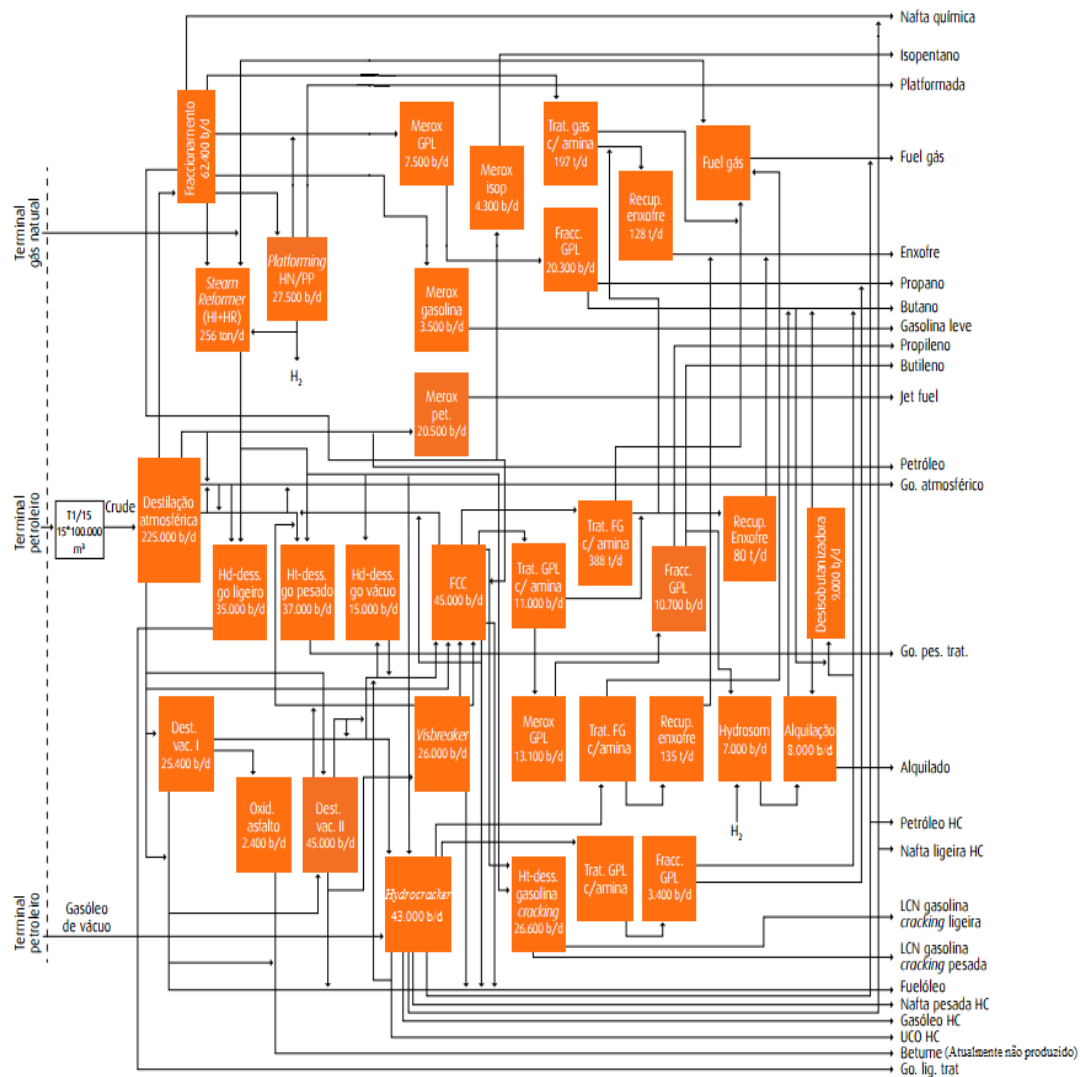


Figura 1.4-Diagrama geral do processo de operação da refinaria de Sines.

Considerando que a refinaria de Sines constitui o caso de estudo, é de extrema importância verificar o estado em que esta se encontra, quanto ao EIITM, dado que este pode identificar possíveis melhorias a realizar nesta com o objectivo de diminuir significativamente as despesas energéticas. Após o cálculo deste índice, as refinarias são colocadas dentro de um de quatro quartis referentes a cada região, sendo que cada quartil corresponde a 25% da população de refinarias testadas pela HSB Solomon Associates LLC. A figura seguinte representa os intervalos de valores do EIITM para cada quartil da europa ocidental do estudo Solomon de 2016, sendo esta a região onde se encontra a refinaria de Sines.

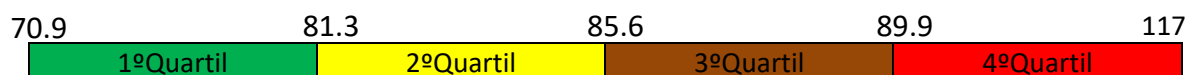


Figura 1.5-Identificação de quartis, em 2016, na europa ocidental.

A figura 1.6 apresenta os valores do EIITM da refinaria de Sines, entre 1 de Outubro de 2014 e 15 de Novembro de 2016, classificados por quartil.

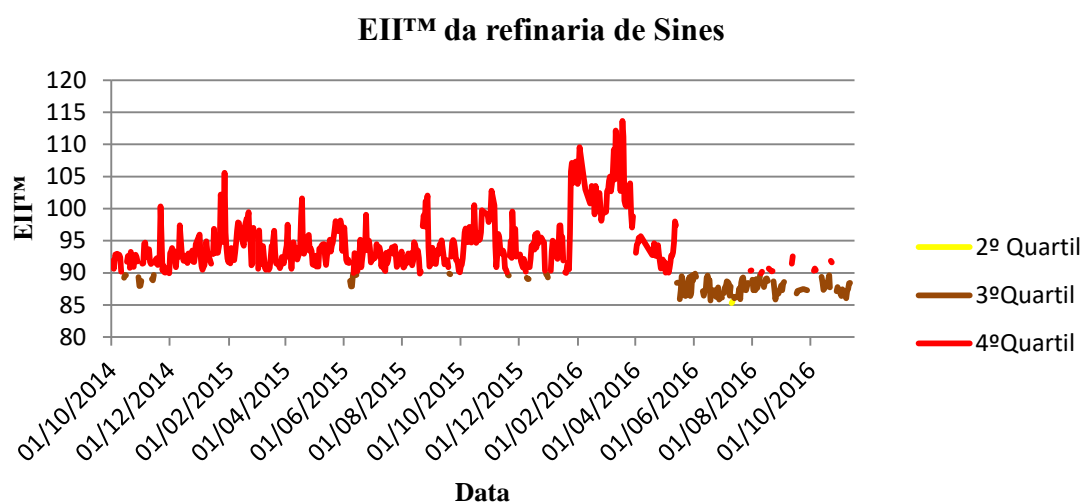


Figura 1.6- EIITM da refinaria de Sines.

Através da análise da figura 1.6, conclui-se que para o período analisado, a refinaria não obteve um único ponto no 1.º quartil, sendo que durante grande parte do período analisado esta foi uma refinaria de 4.º quartil, dando espaço a uma melhoria bastante significativa, quanto à redução de custos energéticos. Porém é de notar uma melhoria significativa no 2.º semestre de 2016, na sequência da implementação de medidas de eficiência energética. O objectivo futuro da refinaria passa por uma alteração no posicionamento da mesma, do limiar do terceiro quartil para o segundo quartil, sendo assim de extrema importância identificar e, desejavelmente, influenciar as variáveis ou relações destas, de modo a ocorrer uma diminuição do EIITM.

Com vista a esta diminuição, foi realizada uma análise a possíveis variáveis, que tenham influência na quantidade de consumo líquido da refinaria. Estudaram-se 16 unidades processuais principais e uma unidade processual auxiliar, estando 7 unidades processuais localizadas na fábrica I, 7 unidades processuais localizadas na fábrica II e 3 unidades na fábrica III. Nestas unidades, apesar de existir consumo de diversos tipos de água, como por exemplo, a água bruta ou desmineralizada, assim como a produção de condensados e consumo de fuel óleo, estas utilidades não são consideradas no cálculo e análise do consumo líquido da unidade, respeitando o modo de cálculo da refinaria. O consumo líquido só considera o consumo líquido da

eletricidade e do vapor, assim como o consumo bruto dos combustíveis, de modo a existir coerência com os balanços de massa. Na análise ao consumo líquido das unidades, foram estudadas diversas variáveis, sendo algumas destas, a qualidade/quantidade de carga, a temperatura ambiente e o *fouling*. É de acrescentar que devido à análise em grande detalhe do consumo líquido das unidades, são estudados todos os consumos/produções das utilidades de modo individual.

Ao longo destes sub-capítulos são analisadas as unidades processuais em estudo, sendo descritas a nível do seu objectivo principal, consumo/produção de utilidades e processo de operação.

No Anexo A encontram-se descritos todos os equipamentos estudados, representados e referidos, através de abreviações, ao longo do sub-capítulo Caso de estudo.

1.2.1.1 Destilação atmosférica

Com uma capacidade de 225000 barris/dia esta unidade da fábrica I destina-se a separar o crude em gases e naftas, petróleo, gasóleo leve, gasóleo pesado e resíduo atmosférico (RAT), sendo estes, posteriormente, submetidos em algumas unidades processuais de modo a produzirem produtos petrolíferos.[12]

Na figura 1.7, encontra-se representado com detalhe, o processo operacional da unidade, no qual se dá uma separação eficiente de fracções de crude, por pontos de ebulição, onde os componentes mais voláteis são retirados pelo topo da coluna e os menos voláteis pela base da mesma.

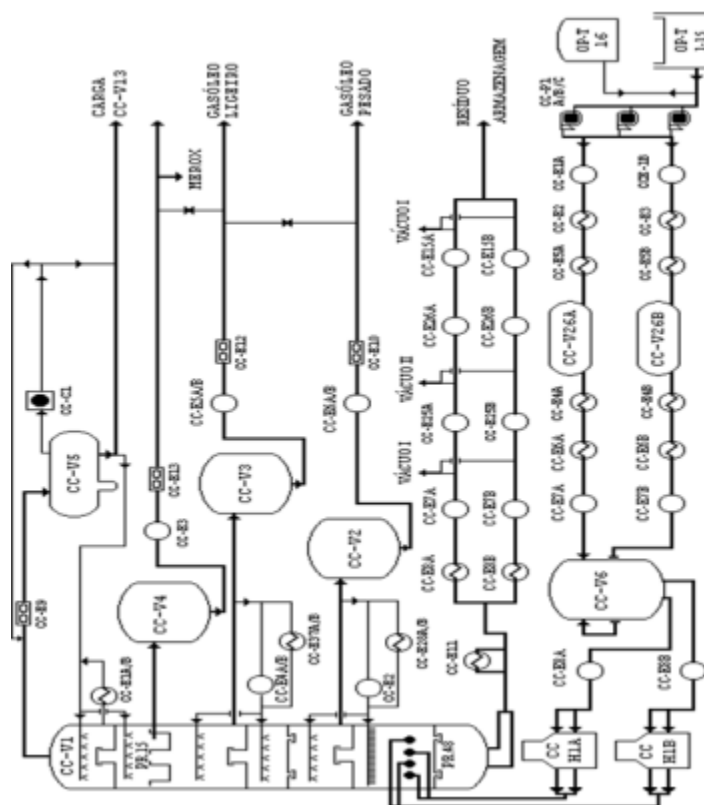


Figura 1.7- Representação da destilação atmosférica.[13]

Apesar da refinaria operar diferentes tipos de programas de fabrico, ao longo de um ano de operação é possível, através do estudo das variáveis controláveis da unidade, agrupar os

programas em duas famílias distintas. Esta identificação será analisada com maior detalhe no capítulo 3, porém a nível superficial, os programas são descritos da seguinte forma:

- Programa *sour*, é o programa em que a carga da destilação atmosférica contém um maior teor de enxofre, sendo este o tipo de programa usualmente utilizado, dado o menor custo da matéria prima;
- Programa *sweet*, este programa é bastante mais caro que o programa *sour*, porém não traz tantos problemas a nível de manutenção de equipamentos, nem de limitações físicas dos mesmos, como é o caso da unidade FCC.

Com base nesta separação, é de grande interesse verificar se a distinção destes programas resulta numa influência significativa ou não no consumo líquido de utilidades da unidade processual e de outras adjacentes, podendo consequentemente afectar o EIITM da unidade processual e da refinaria. O consumo e produção das utilidades, referentes à destilação atmosférica, são representados de forma detalhada, através da figura 1.8, sendo esta, uma das principais unidades de estudo. A figura 1.8 liga cada equipamento da unidade a um consumo/produção de utilidade, sendo que se a totalidade dos equipamentos mencionados não consumir ou produzir a utilidade em questão, será apresentada a abreviação do equipamento que consome ou produz a respectiva utilidade entre parênteses.

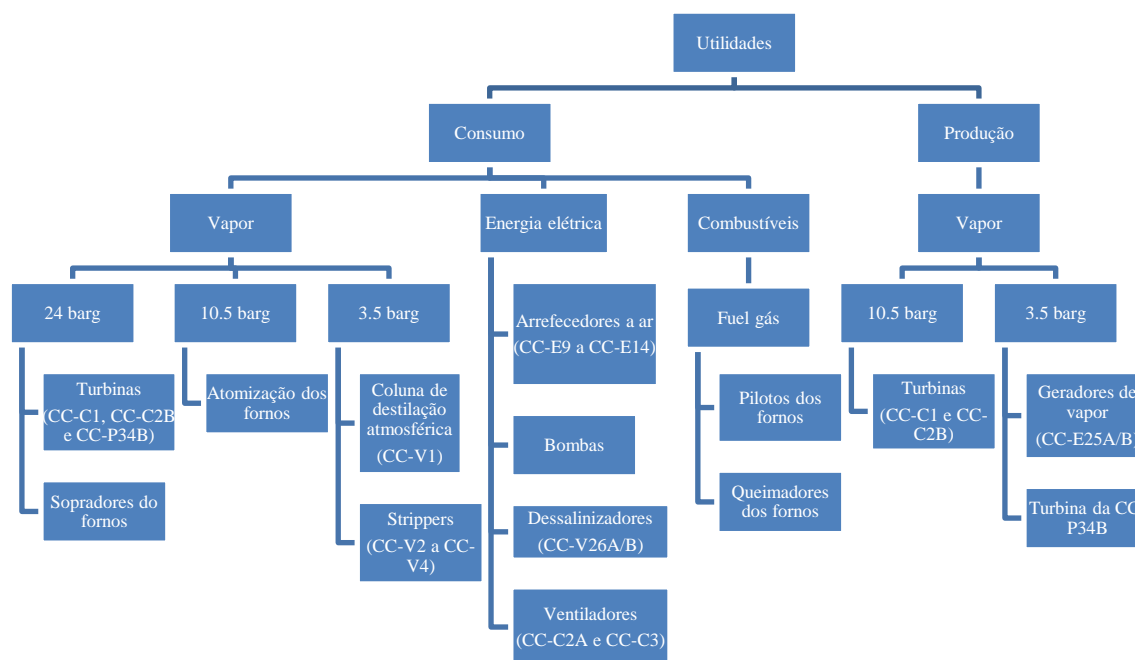


Figura 1.8-Representação do consumo líquido da destilação atmosférica.

1.2.1.2 Destilação de vácuo I

Como a destilação atmosférica, a destilação de vácuo I é uma das unidades processuais de mais importante análise, quer em termos de fábrica I, quer em termos de refinaria, esta apresenta uma capacidade de cerca de 25400 barris/dia.[14]

Através dos programas de fabrico anteriormente mencionados, pode ser visível uma influencia significativa destes no consumo da unidade em estudo, pois quando o programa é *sour*, o resíduo atmosférico é consequentemente de alto teor de enxofre. Este resíduo é utilizado

directamente como carga da destilação de vácuo I, sendo que esta está consequentemente a uma temperatura elevada, consumindo uma baixa quantidade de energia no trem de pré-aquecimento. Por outro lado, quando o programa é *sweet*, o resíduo atmosférico contém um baixo teor de enxofre e é arrefecido e segregado em tanque, sendo utilizado como carga do FCC e não como carga da destilação de vácuo I. Nestas circunstâncias, a unidade de vácuo I é alimentada com caudal proveniente, directamente, de tanques de armazenamento de resíduo atmosférico *sour*. Estes encontram-se a uma temperatura mais baixa que o resíduo atmosférico de alto teor de enxofre, necessitando deste modo de um maior pré-aquecimento, resultando num maior consumo por parte do programa *sweet*, em comparação com o *sour*. Após o processo de pré-aquecimento, a carga é alimentada à unidade de destilação de vácuo I, sendo o resultado final a obtenção de gasóleo de vácuo, que é posteriormente enviado à unidade de dessulfuração do gasóleo de vácuo, com o objetivo de reduzir significativamente o seu teor de enxofre para que este cumpra as limitações físicas de carga para o FCC. O gasóleo de vácuo I também pode ser enviado directamente para o HC. A unidade de vácuo I também produz resíduo de vácuo, sendo este utilizado como carga da unidade de oxidação para produção de asfalto de baixa penetração ou ainda na mistura com o *Slop Wax*.

A figura 1.9 esquematiza o processo operacional da unidade, sendo este bastante semelhante ao utilizado na destilação atmosférica.

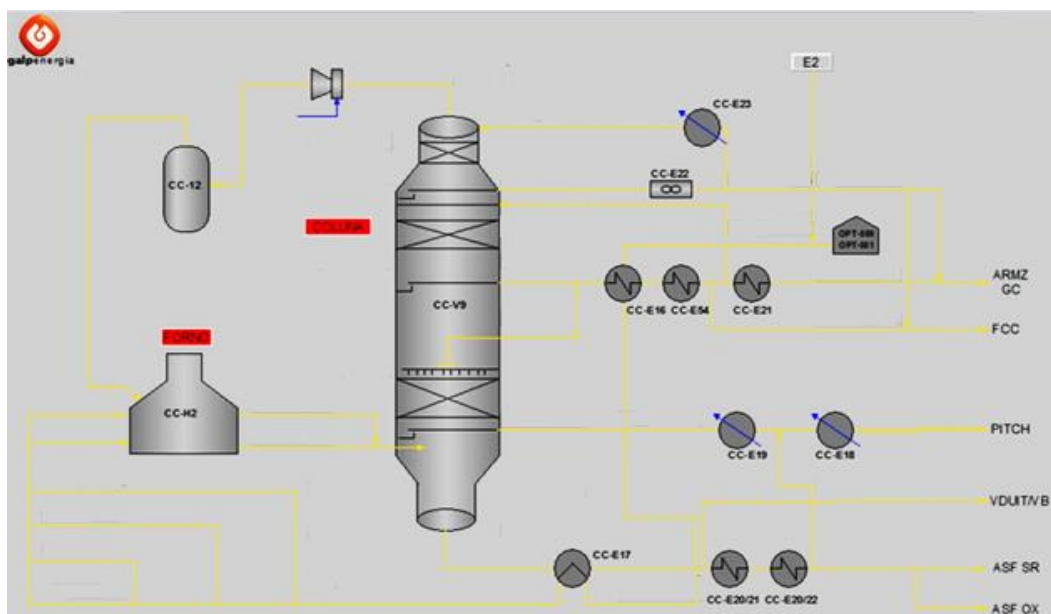


Figura 1.9-Representação geral do processo da destilação de vácuo I.

A figura 1.10, à semelhança da unidade processual anterior, representa os equipamentos da destilação de vácuo I onde é consumida/produzida cada utilidade.

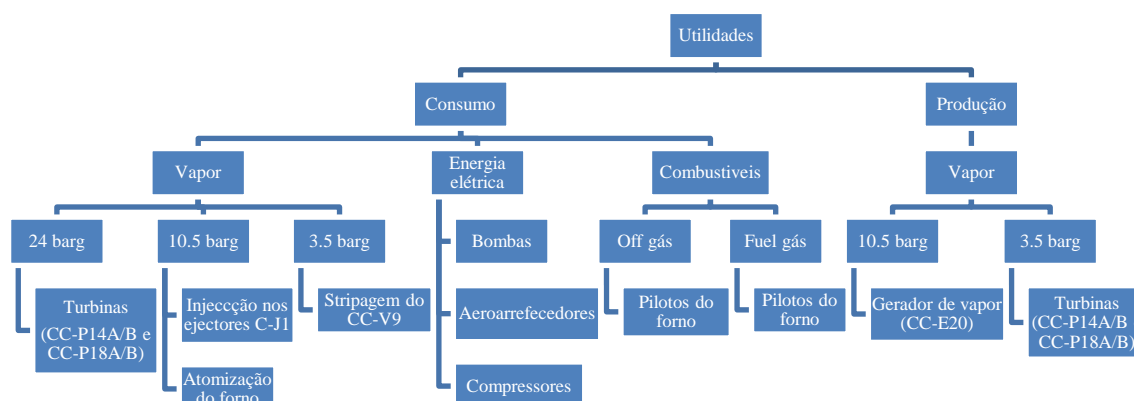


Figura 1.10-Representação do consumo líquido na destilação de vácuo.

1.2.1.3 Destilação de vácuo II

Localizada na fábrica II, com uma capacidade de cerca de 45000 barris/dia,[15] esta unidade trabalha em conjunto com a destilação de vácuo I, estando integrada energeticamente com o *visbreaker*. O objetivo principal da unidade é auxiliar a destilação de vácuo I, de modo a produzirem carga suficiente para o FCC e o HC, reduzindo simultaneamente a quantidade de fuel óleo. Adicionalmente, esta unidade produz carga para o *visbreaker*. Os seus produtos finais são: destilado de vácuo, gasóleo de vácuo e resíduo de vácuo.[15]

A figura 1.11 representa o processo operacional da destilação de vácuo II.

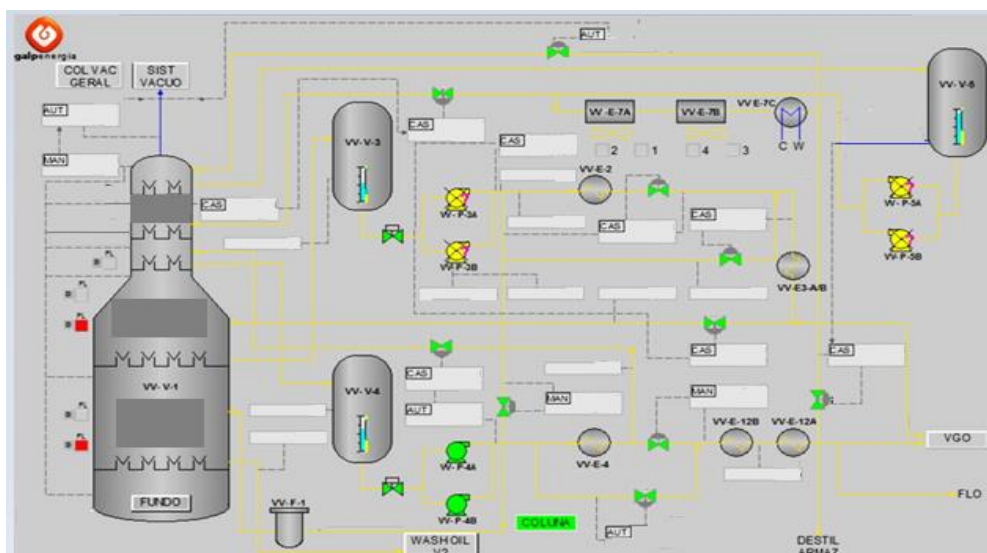


Figura 1.11-Representação do processo operacional da destilação de vácuo II.

À semelhança das unidades anteriormente analisadas, a figura 1.12 representa um esquema do consumo líquido da unidade processual em estudo, porém devido à integração entre a unidade *visbreaker* e a destilação de vácuo II, o consumo líquido das duas unidades podem conter um erro de cálculo associado.

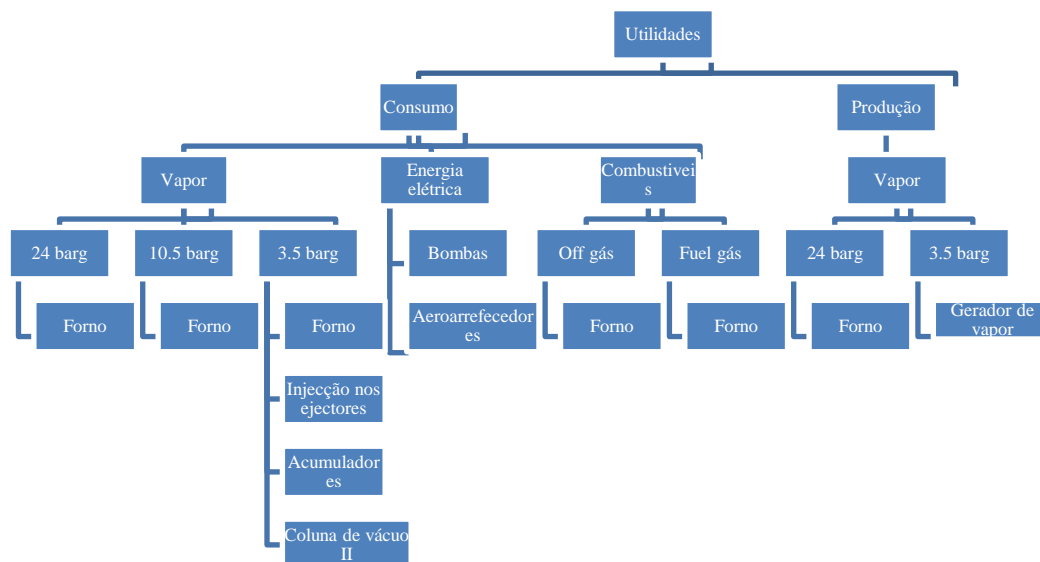


Figura 1.12-Representação do consumo líquido da destilação de vácuo II.

1.2.1.4 Visbreaker

Devido à integração energética entre o *visbreaker* e a destilação de vácuo II, o cálculo do consumo líquido das unidades pode conter um erro associado, porém o estudo do *visbreaker* de forma individual, apesar do erro, é essencial de modo a entender o comportamento deste em relação ao vácuo II.

Localizado na fábrica II, o *Visbreaker* apresenta uma capacidade de cerca de 26000 barris/dia. Este tem como objetivo produzir fuel óleo e produtos leves a partir do resíduo da destilação de vácuo I e II, através da utilização de um processo de *cracking* térmico a uma temperatura elevada e com longo tempo de residência.

De modo a entender a integração entre a unidade atualmente em estudo e a anterior é representado na figura 1.13 um diagrama geral do processo de produção de vapor das unidades. Neste pode-se verificar a utilização integrada do forno do vácuo II, das colunas de vácuo II e *visbreaker*, assim como de permutadores de calor das duas unidades.

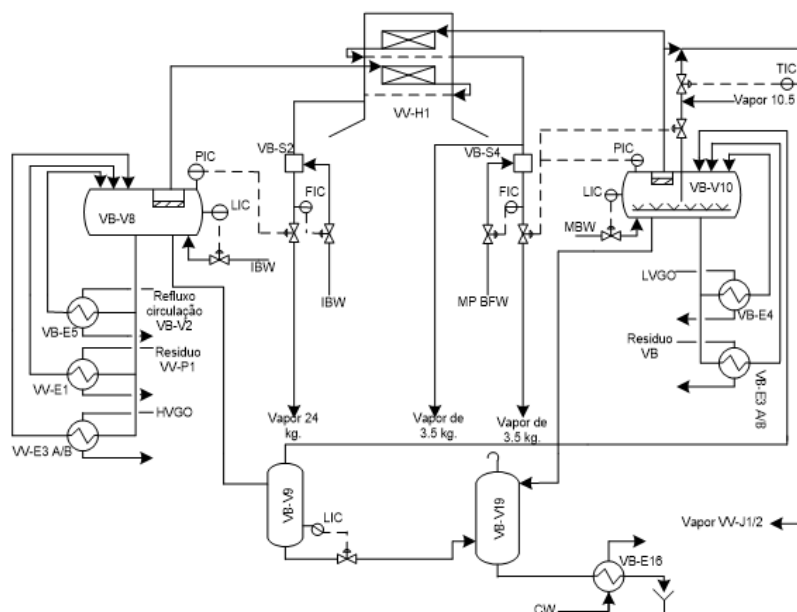


Figura 1.13-Diagrama geral do processo de produção de vapor.[16]

Como referido anteriormente, devido à integração energética com a destilação de vácuo II, o *visbreaker* pode conter um erro relativamente à quantidade de consumo líquido na unidade. Esta integração encontra-se representada através da figura 1.13. Através da figura 1.14, é representada a rede de consumo líquido da unidade, em que se identificam as utilidades consumidas e produzidas por equipamento.

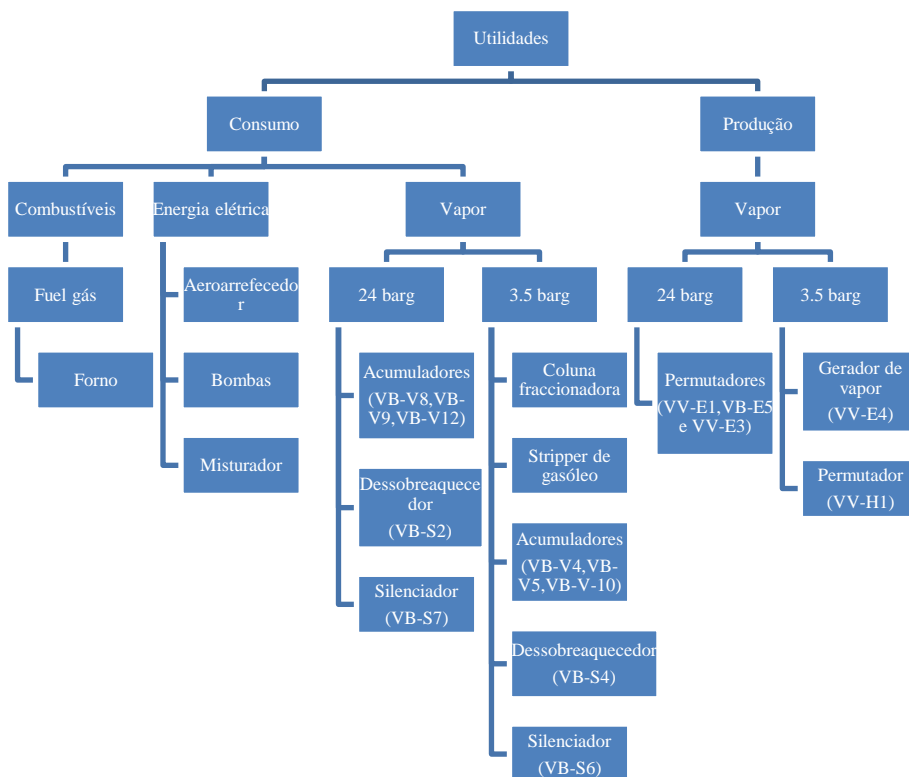


Figura 1.14-Representação do consumo líquido do *visbreaker*.

1.2.1.5 Hydrobon de destilados (HD)

Localizada na fábrica I, com uma capacidade de 35000 barris/dia,[17] esta unidade tem como carga: o gasóleo atmosférico ligeiro, proveniente da destilação atmosférica, e o hidrogénio puro, proveniente do *steam reformer* HI, ou impuro, proveniente do *platforming* (PP). Esta unidade tem como processo a extracção do enxofre do gasóleo ligeiro atmosférico ou da mistura de gasóleo ligeiro e petróleo SR, de modo a produzir um gasóleo tratado com um teor de enxofre tipicamente de 10ppm, a fim de poder servir como componente de gasóleo final. Para a remoção do enxofre utiliza-se um catalisador, tipo CoMo, e o hidrogénio produzido na unidade HI, os quais quando misturados com o gasóleo atmosférico, em determinadas condições de pressão e temperatura, provocam a transformação dos compostos de enxofre em ácido sulfídrico, que será separado na forma gasosa do produto tratado.[17]

Através da figura 1.15, é representado o processo de reacção, da unidade em estudo.

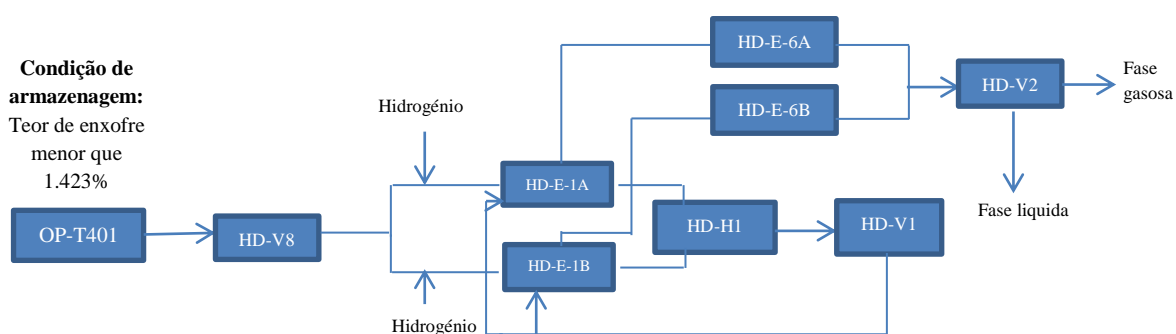


Figura 1.15- Representação da secção de reacção do *hydrobon* de destilados.

Através da figura 1.16, é esquematizado o consumo bruto da unidade, dado que nesta não existe produção de qualquer utilidade.

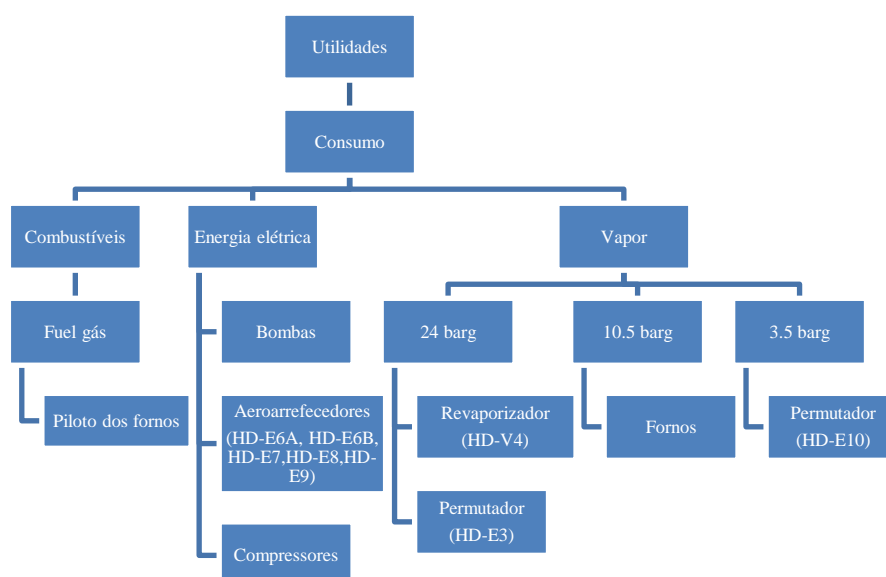


Figura 1.16-Representação do consumo bruto do *hydrobon* de destilados.

1.2.1.6 Dessulfuração de gasóleo pesado (HG)

Localizada na fábrica I, com uma capacidade de 37000 barris/dia, esta unidade tem como objectivo reduzir o teor de enxofre do gasóleo atmosférico proveniente da destilação atmosférica, assim como do destilado de vácuo II, do gasóleo do *visbreaker* e do *swing cut* do FCC, até ao limite máximo de 10 ppm.[18] O método de redução do teor de enxofre é similar ao utilizado no *hydrobon* de destilados, dado que se utiliza hidrogénio produzido na unidade de *platforming* ou HI, de modo a que a reacção entre as cargas provoque a transformação dos compostos de enxofre em ácido sulfídrico, sendo que este será separado na forma gasosa do produto tratado.

A secção de carga e reacção da unidade é esquematizada através da figura 1.17.

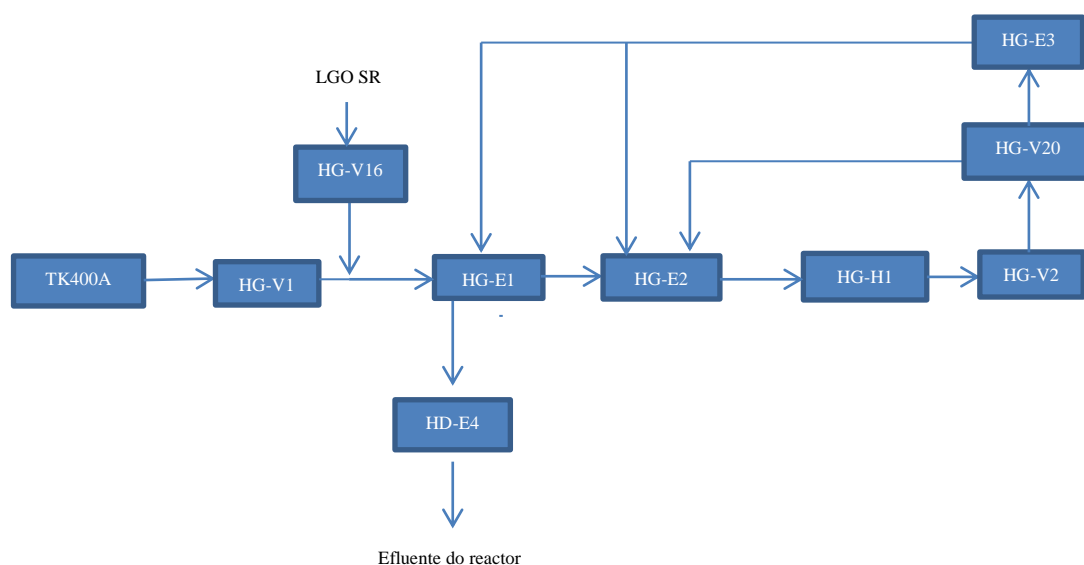


Figura 1.17- Representação da secção de carga e reacção da dessulfuração de gasóleo pesado.

Seguindo o mesmo raciocínio das unidades anteriormente analisadas, são representados através da figura 1.18, os consumos líquidos da unidade, assim como os respectivos equipamentos de consumo e produção de utilidades.

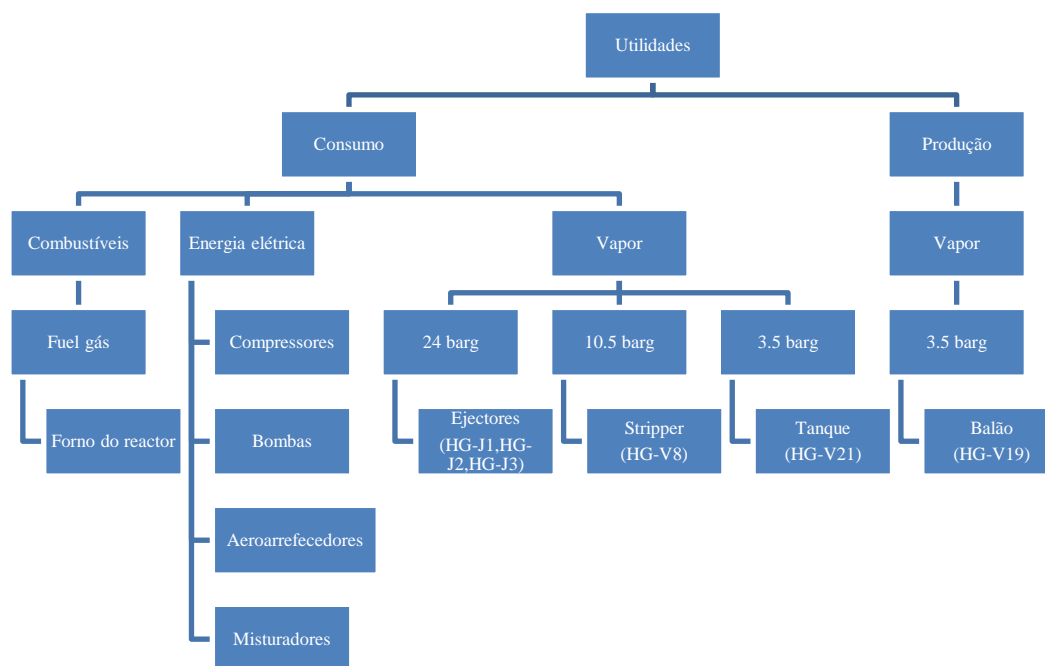


Figura 1.18- Representação do consumo líquido da dessulfuração de gasóleo pesado.

1.2.1.7 Unidade de *reformer* catalítico

A unidade de *reformer* catalítico, localizada na fábrica I, apresenta uma capacidade de 27500 barris/dia,[19] sendo constituída pelas seguintes unidades individuais:

- *Hydrobon* de nafta (HN), esta é uma unidade de dessulfuração e preparação da nafta pesada, cujo objetivo é a obtenção de uma carga que satisfaça as condições do *Platforming*, através da eliminação de compostos azotados e sulfurados, em presença de catalisador e em atmosfera de hidrogénio;
- *Platforming*, o objetivo desta unidade é a obtenção de reformado de elevado índice de octano, através de várias reacções químicas na presença de um catalisador com platina, sendo também obtido hidrogénio neste processo.

O processo global da unidade de *reformer* catalítico é representado através da figura 1.19. Através do raciocínio apresentado na análise das unidades anteriores, é representada na figura 1.20 a rede de consumos líquidos da unidade de *reformer* catalítico.

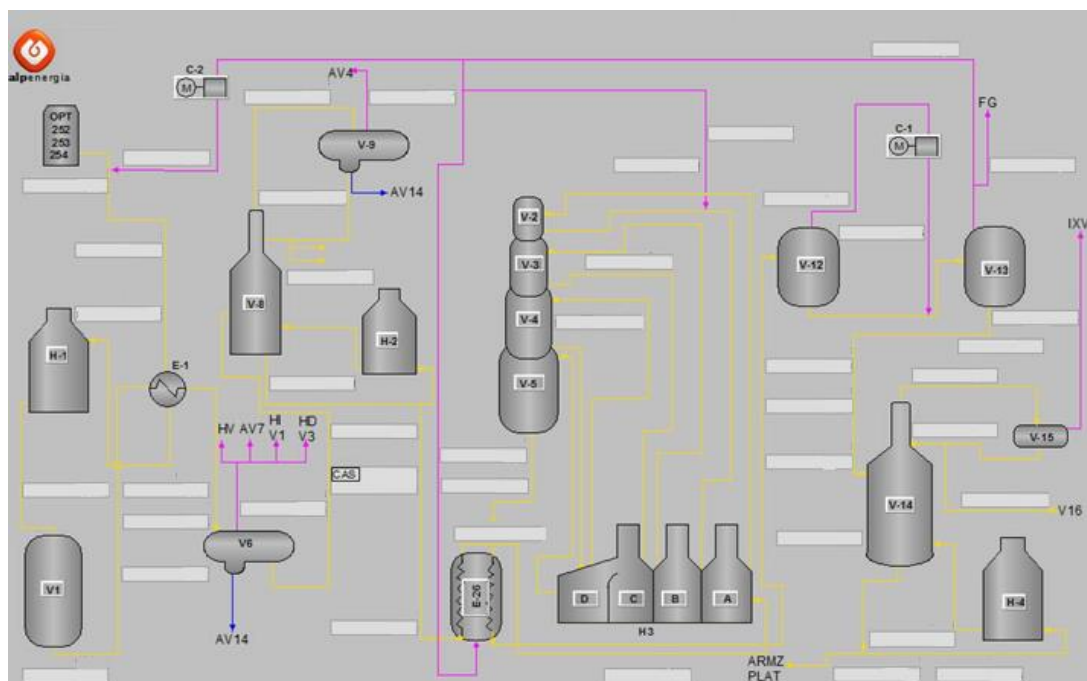


Figura 1.19-Representação do processo de operação da unidade de *reformer* catalítico.

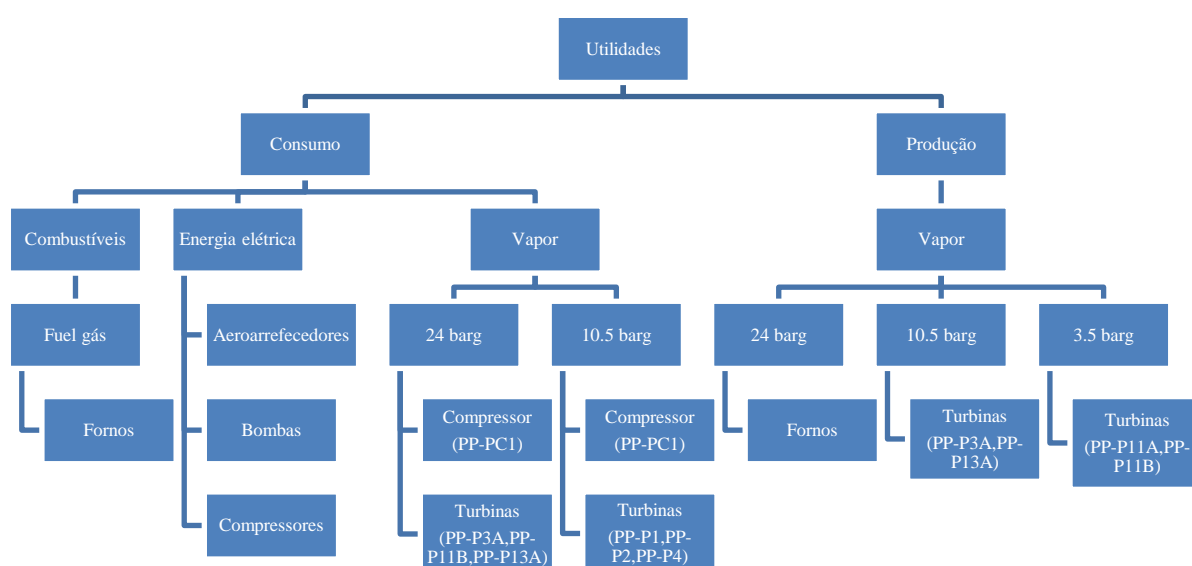


Figura 1.20-Representação do consumo líquido da unidade de *reformer* catalítico.

1.2.1.8 Produção de hidrogénio na fábrica I

A unidade em estudo encontra-se associada à produção de hidrogénio na fábrica III (HR), sendo que estas unidades têm funções semelhantes; quando associadas, estas apresentam uma capacidade conjunta de cerca de 256 ton/d. Apesar destas serem duas unidades distintas, os seus objetivos são semelhantes, sendo o principal a produção de hidrogénio de elevada pureza para que este seja utilizado nas unidades de *hydrocracker* e de dessulfuração.

A figura 1.21 representa o processo simplificado de operação da unidade.

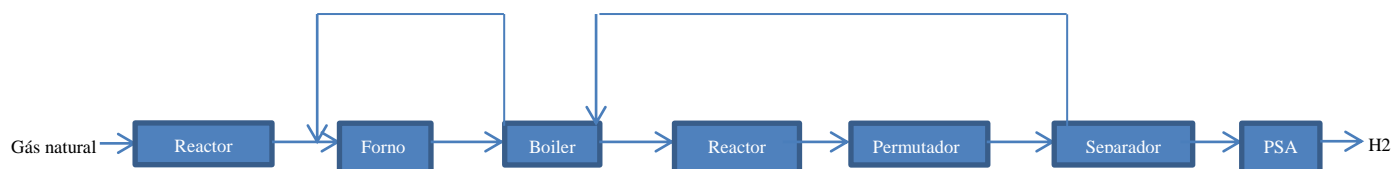


Figura 1.21- Representação do processo de obtenção de hidrogénio.

À semelhança das unidades anteriores, o consumo líquido da unidade é esquematizado, sendo este representado através da figura 1.22.

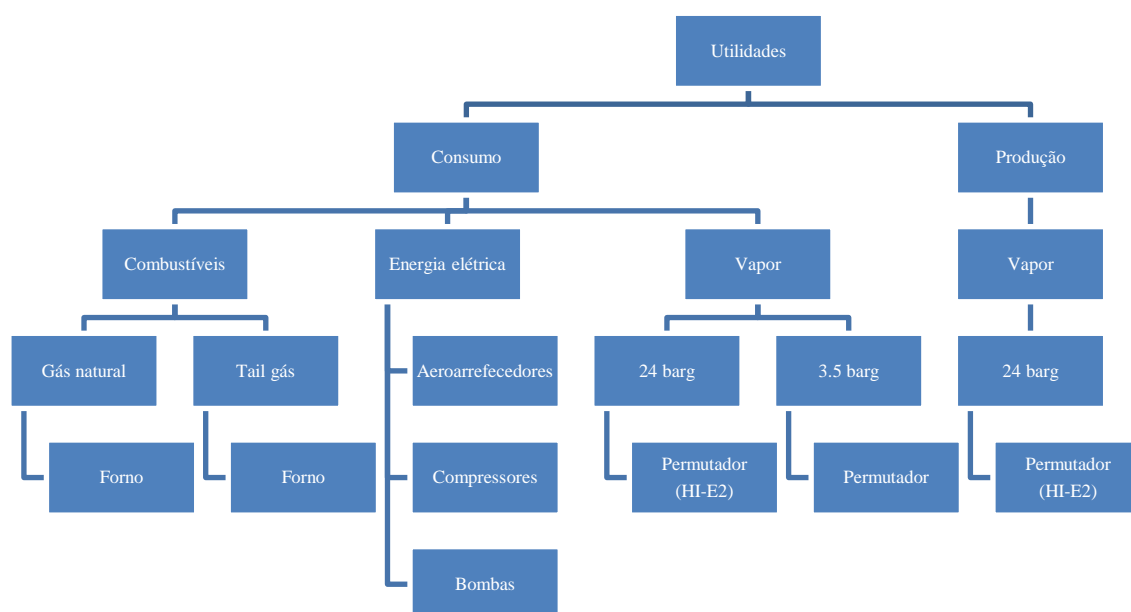


Figura 1.22- Esquema do consumo líquido da HI.

1.2.1.9 Alquilação e Desisobutanizadora

A alquilação é uma unidade da fábrica II com uma capacidade de cerca de 8000 barris/dia. O objetivo desta passa pela produção de um composto alquilado com elevado índice de octanas, densidade e tensão de vapor. Este é produzido através de uma reacção de condensação de isobutano com butilenos, em que o catalisador é o ácido fluorídrico.[20] A sua carga é preparada na desisobutanizadora (DiC4), sendo esta considerada uma unidade auxiliar da alquilação, porém em termos de cálculo do consumo líquido, esta é considerada uma unidade

independente. O processo de operação da desisobutanizadora passa unicamente por uma separação de isobutano do n-butano.

A figura seguinte representa o processo operacional da alquilação.

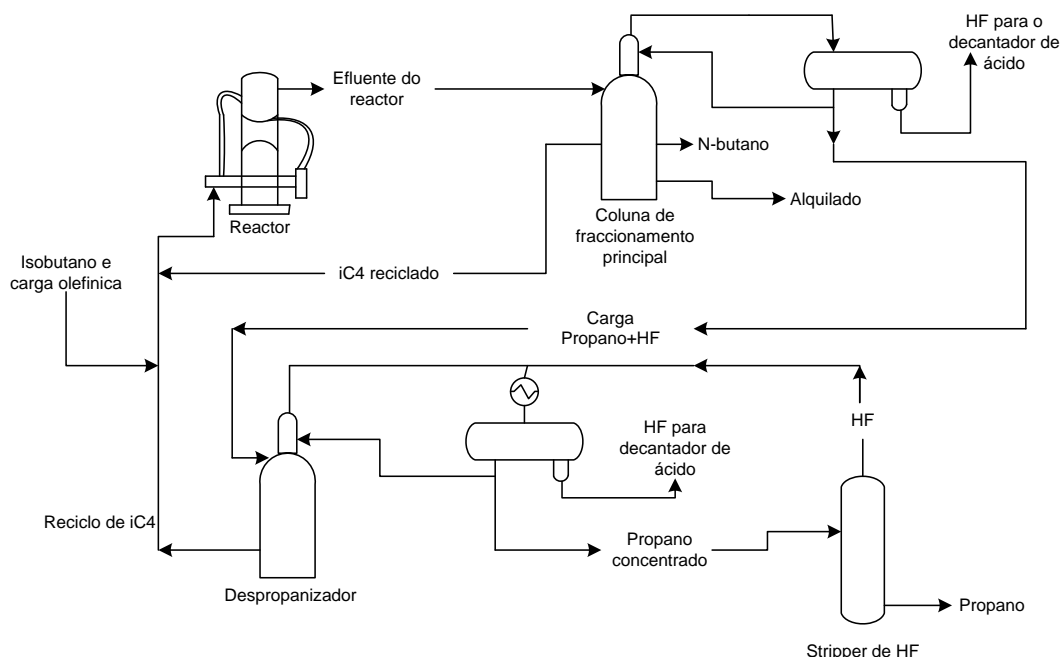


Figura 1.23- Representação do processo operacional da alquilação.[21]

De seguida, representa-se, através da figura 1.24, a rede de consumos de utilidades da alquilação. Nesta foi utilizado o mesmo raciocínio que nas unidades anteriormente analisadas. Quanto à rede de consumos de utilidades da desisobutanizadora, esta é representada através da figura 1.25, em que se apresenta um diagrama mais geral devido à importância reduzida da análise da desisobutanizadora, em comparação com as anteriores.

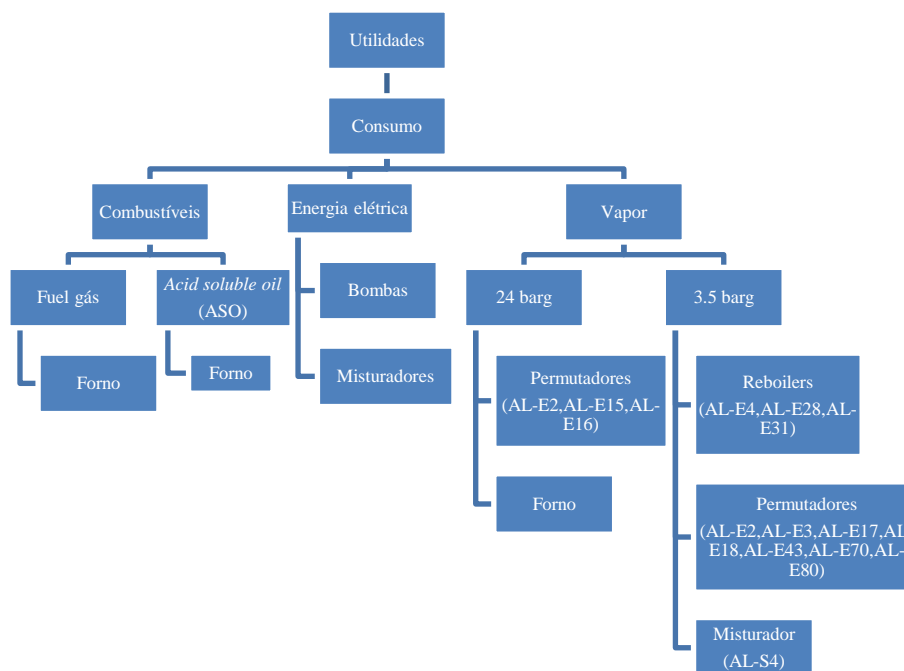


Figura 1.24- Representação da distribuição de utilidades na alquilação.

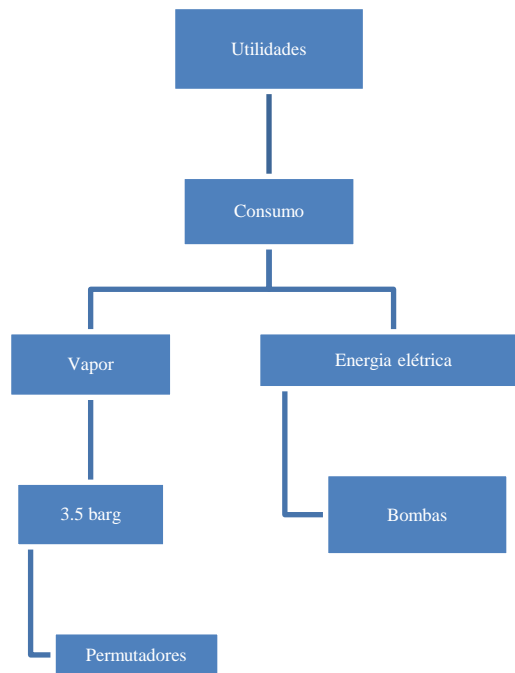


Figura 1.25- Representação da distribuição de utilidades na desisobutanizadora.

1.2.1.10 Fluid Catalytic Cracking

A unidade FCC, localizada na fábrica II, com uma capacidade nominal de 45000 barris/dia, tem como objetivo o craqueamento de hidrocarbonetos pesados, obtendo-se assim componentes leves de maior valor. O processo utilizado nesta unidade, *cracking* catalítico, veio substituir o *cracking* térmico devido a melhores rendimentos e atividade. Este utiliza um catalisador à base de zeólitos, que se comporta como um fluido quando em suspensão numa corrente de vapor ou ar. O processo desta unidade é dividido em 3 secções:[22]

- Secção catalítica, decomposta em 2 fases principais. Numa primeira fase, o reator quebra as ligações dos hidrocarbonetos, obtendo como subproduto coque, o que resulta na produção de uma enorme quantidade de energia. Numa segunda fase, o catalisador é continuamente regenerado no regenerador e retornado ao reator;
- Secção de Fraccionamento, esta é constituída essencialmente por uma coluna de fraccionamento que recebe o efluente do reator e inicia o processo de separação, onde o gasóleo ligeiro e o gasóleo pesado deixam a coluna já como produtos, enquanto que a nafta de *cracking* e os hidrocarbonetos mais leves saem juntos pelo topo e são separados na unidade de concentração de gases;
- Concentração de Gases, nesta secção o efluente de topo de coluna de fraccionamento é separado em gasolina, gás de petróleo liquefeito (LPG) e fuel gás. Estes produtos são posteriormente tratados nas unidades de aminas, Merox de LPG e dessulfuração de gasolina de *cracking*.

O processo de operação do FCC é representado, de forma simplificada, pela figura 1.26.

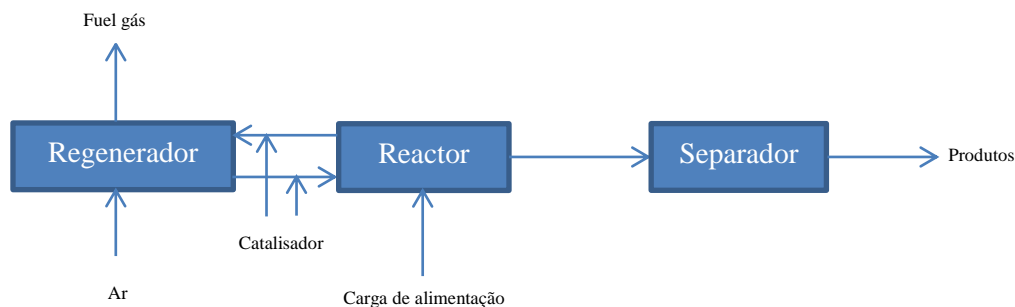


Figura 1.26-Diagrama processual simplificado do FCC.

Seguindo o raciocínio utilizado nas análises anteriores das unidades processuais principais, elaborou-se a figura 1.27.

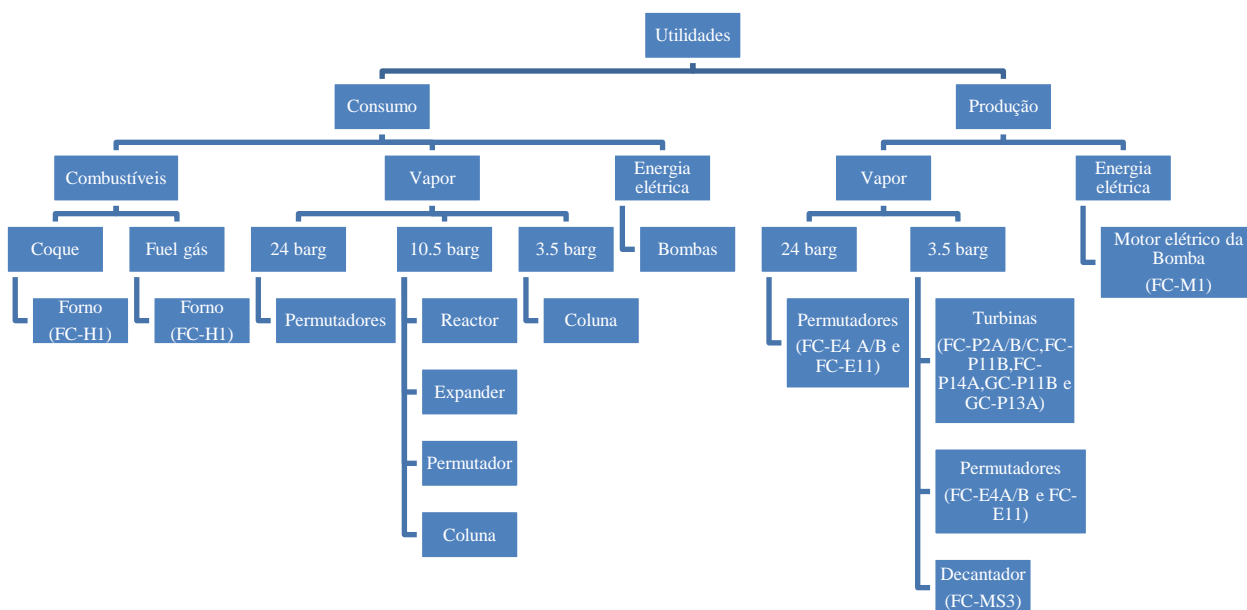


Figura 1.27-Representação do consumo líquido no FCC.

1.2.1.11 Dessulfuração gasolina de *cracking* (HT)

Localizada na fábrica II, com uma capacidade de 26600 barris por dia, a unidade tem como objetivo, a redução do teor de enxofre da gasolina produzida na unidade FCC, sendo esta a sua carga. O processo de redução do teor inicia-se com a transformação de dienos em olefinas, sendo estas separadas em dois produtos, a nafta leve de *cracking* catalítico (LCN), enviada directamente para a *pool* das gasolinas e a nafta pesada de *cracking* catalítico (HCN), que em presença de hidrogénio, na secção de dessulfuração, é transformada numa gasolina, após *blending*, com um teor máximo de enxofre de 10 ppm.[23]

O esquema geral de processo da HT é similar ao da unidade HD e HG, sendo que, a figura 1.28 representa a secção de carga e reacção da unidade processual HT.



Figura 1.28-Diagrama geral da secção de carga e reacção do HT.

Seguindo o raciocínio apresentado na anterior unidade processual, elaborou-se a figura 1.29.

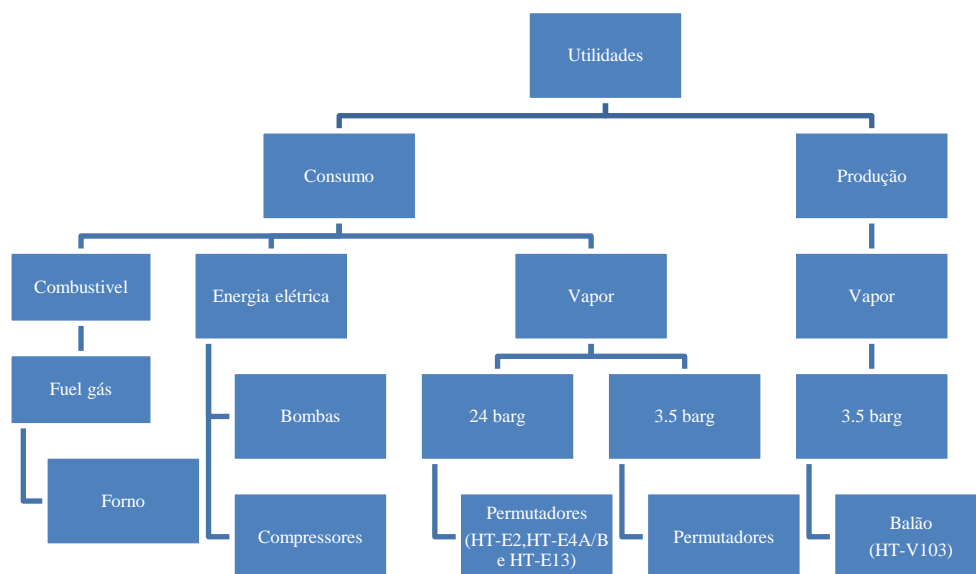


Figura 1.29-Representação esquemática do consumo líquido da unidade.

1.2.1.12 Produção de hidrogénio na fábrica III

Tendo sido referenciada a unidade em estudo, quanto ao seu objetivo e processo, na análise ao HI, procedeu-se à representação do processo geral da unidade através da figura 1.30.

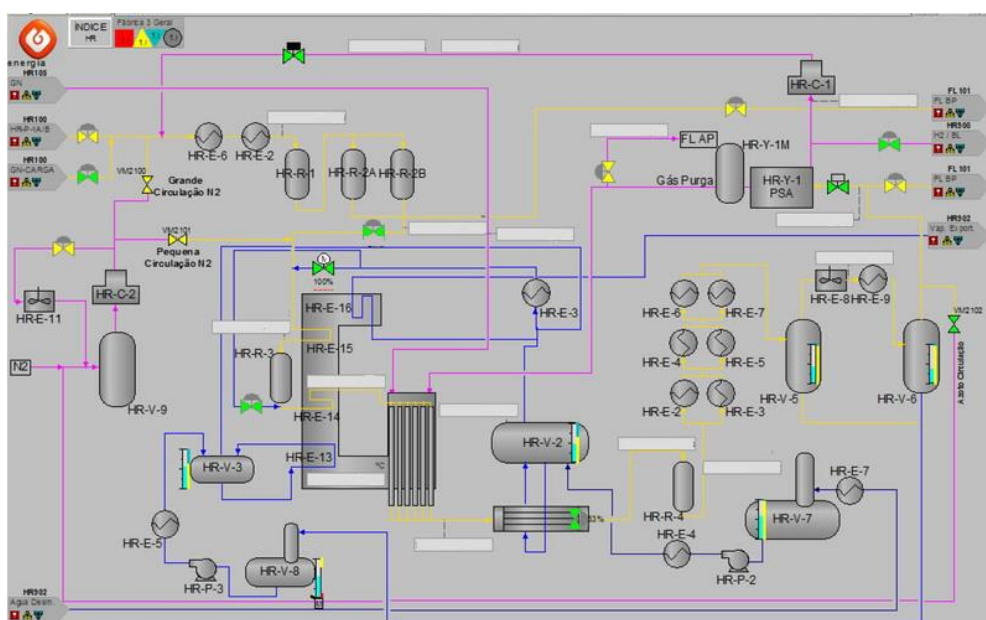


Figura 1.30-Representação do processo de produção de hidrogénio na fábrica III.

Através da análise dos consumos/produções de utilidades na unidade, gerou-se o seguinte esquema representativo do consumo líquido da unidade.

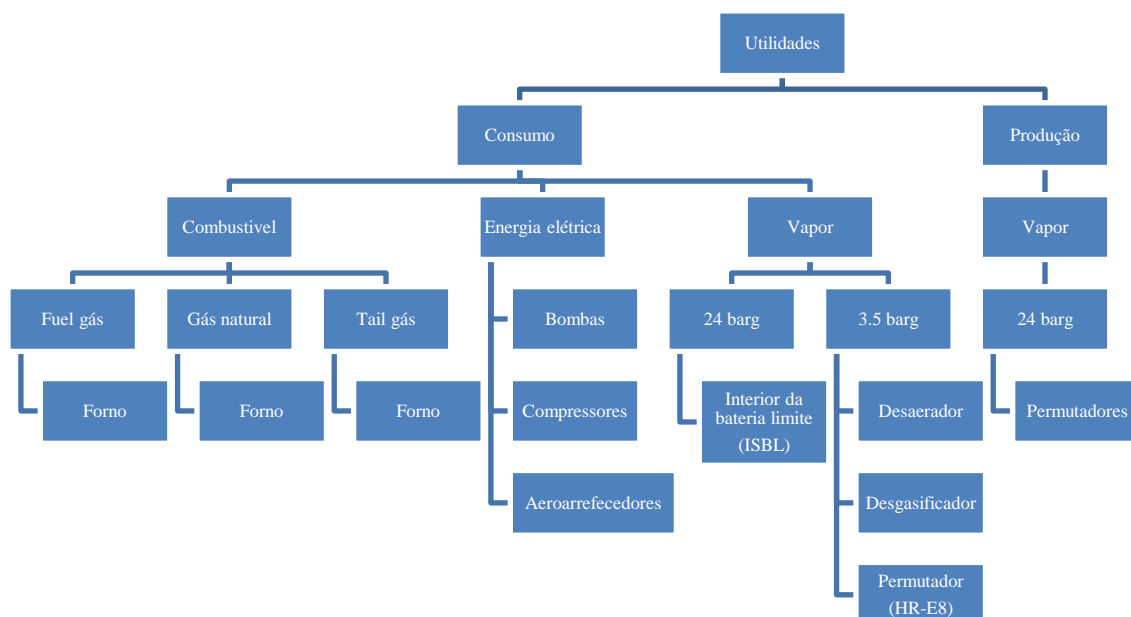


Figura 1.31- Representação do consumo líquido do HR.

1.2.1.13 Hydrocracker

Localizado na fábrica III, o HC apresenta uma capacidade de 43000 barris/dia, sendo o seu objetivo a desmetalização, dessulfuração e conversão da sua carga, através de dois estágios de conversão com catalisadores de leito fixo com reciclo, atingindo a conversão de 99% em gasóleo e petróleo, componentes de nafta e óleo não convertido. A unidade inclui secções de fraccionamento, de recuperação de gases de tratamento, fraccionamento de LPG, tratamento de fuel gás com aminas e regeneração das mesmas. Através da figura 1.32, representa-se em detalhe a secção de fraccionamento do HC.

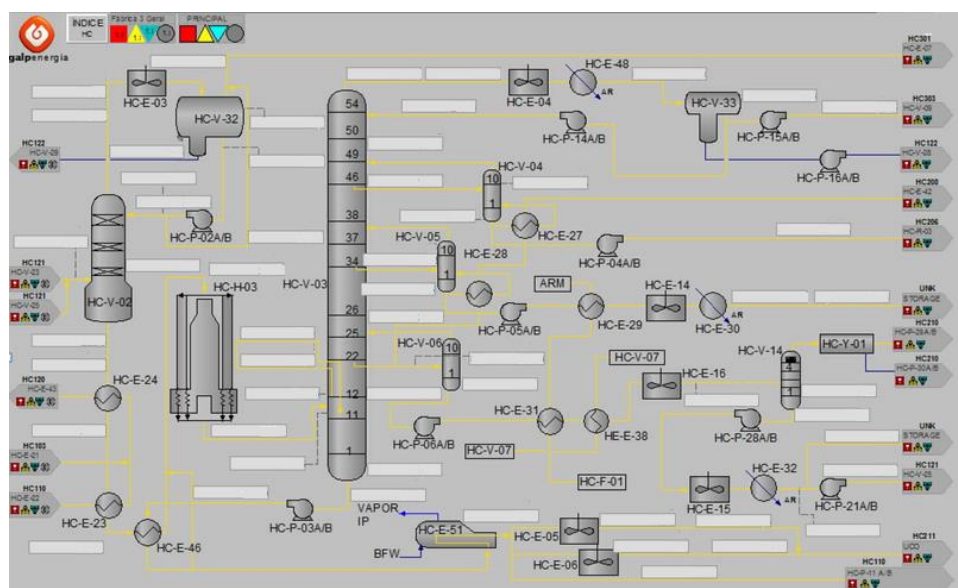


Figura 1.32-Representação da secção de fraccionamento do HC.

Através da análise em detalhe das utilidades consumidas/produzidas no HC é elaborada a figura 1.33.

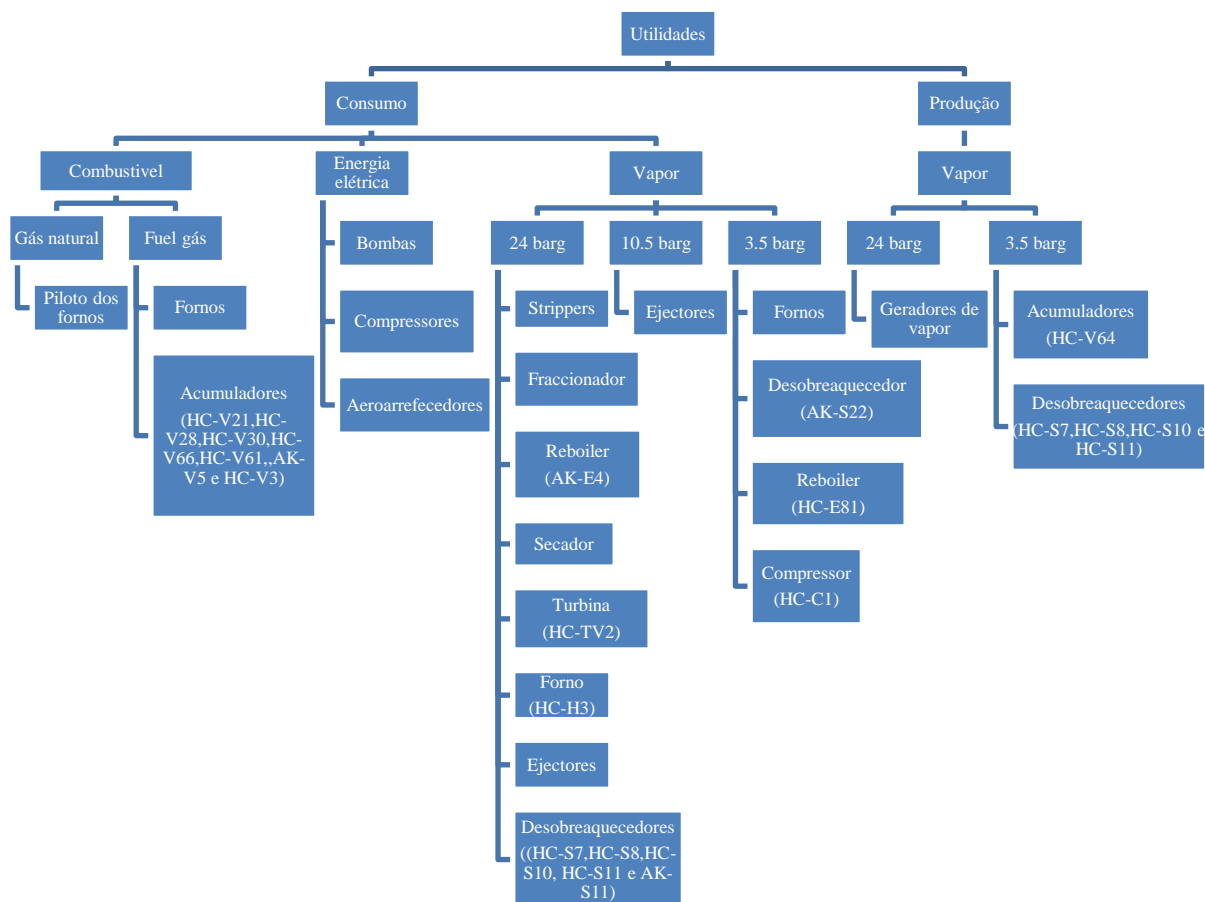


Figura 1.33-Representação do consumo líquido do HC.

1.2.1.14 Recuperação de enxofre I, II e III

Na refinaria de Sines existem três unidades de recuperação de enxofre, sendo a recuperação de enxofre I (SS) localizada na fábrica I, com uma capacidade de 128 ton/d; a recuperação de enxofre II (SB) localizada na fábrica II, com uma capacidade de 80 ton/d; e a recuperação de enxofre III (SC) localizada na fábrica III, com uma capacidade de 135 ton/d. Estas processam sulfureto de hidrogénio proveniente das regenerações das unidades de tratamento de gases com amina, na presença de um catalisador. O objetivo destas unidades é a produção de enxofre elementar comercial a partir dos gases ácidos, subproduto dos processos de refinação. Apesar de terem um processo bastante similar (processo Claus), estas unidades são vistas como independentes.

Dado que a importância de análise destas unidades é menor, em relação às unidades processuais anteriormente analisadas devido a teoricamente estas conterem um menor intervalo de valor do consumo líquido, só se demonstra a representação do consumo líquido para cada uma das unidades de maneira geral. As figuras 1.34, 1.35 e 1.36, representam respectivamente, os diagramas do consumo líquido da SS, SB e SC.

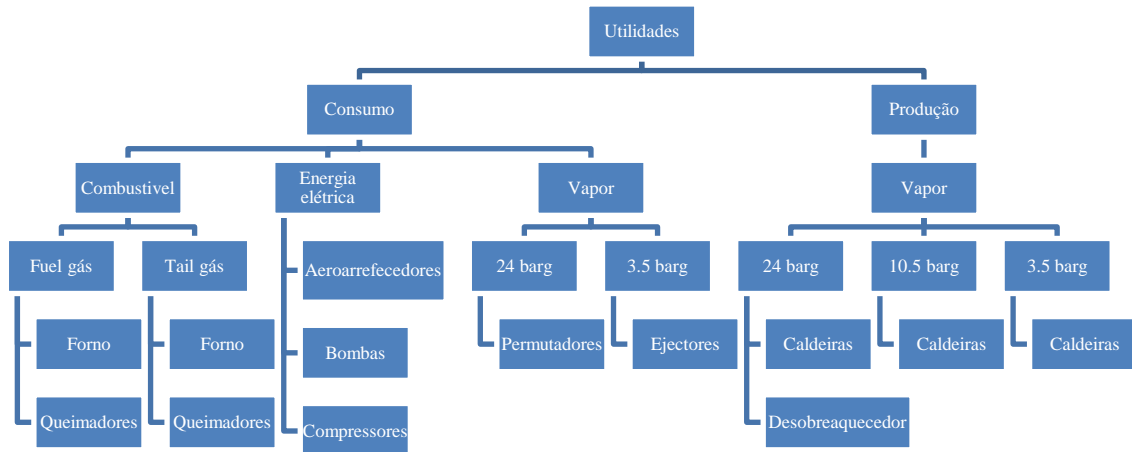


Figura 1.34-Representação do consumo líquido da SS.

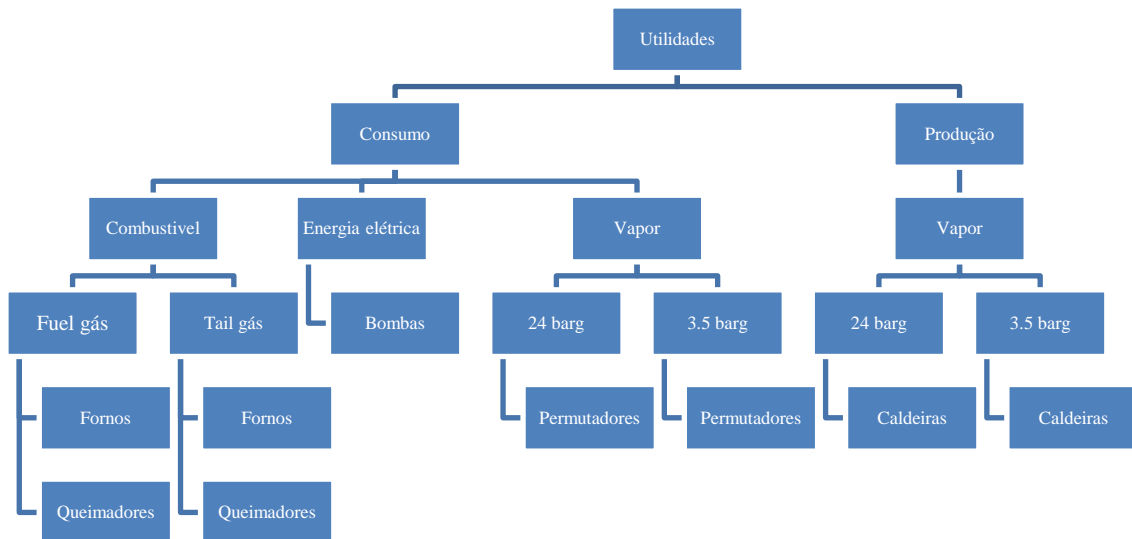


Figura 1.35-Representação do consumo líquido da SB.

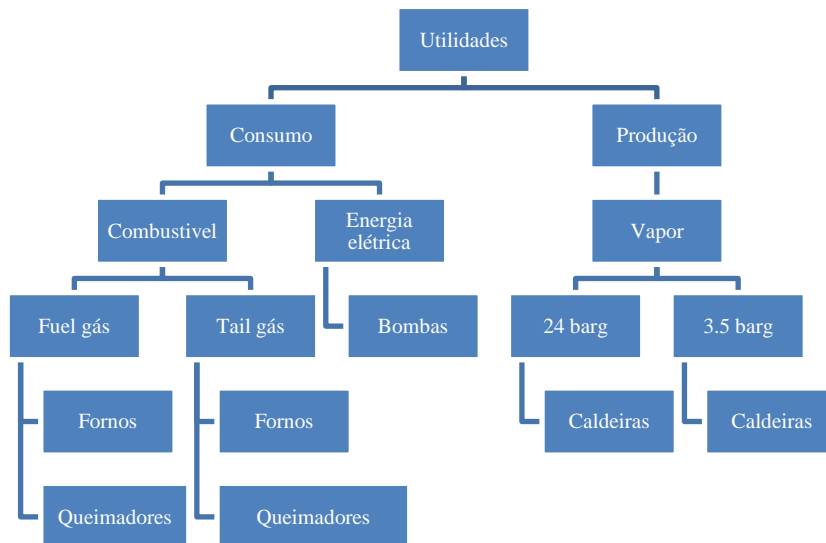


Figura 1.36-Representação do consumo líquido da SC.

1.3 Objetivos

Após a contextualização do problema, referente ao aparelho refinador, e à análise dos casos de estudo, estabeleceram-se os seguintes objetivos para a dissertação:

1. Propôr modelos de regressão dos consumos líquidos da destilação atmosférica, vácuo I e vácuo II, em função do tipo de programa de fabrico (*sour/sweet*);
2. Obter um modelo estatístico preditivo para o EIITM em função de variáveis macro, com um coeficiente de determinação de no mínimo 0.9;
3. Obter um modelo estatístico preditivo para o EIITM em função dos programas de fabrico individuais, com um coeficiente de determinação de no mínimo 0.9.

Capítulo 2- *Big Data Analysis*

O presente capítulo tem como objetivo responder a questões essenciais, cujo desconhecimento das respectivas respostas possam impedir que os objectivos propostos na dissertação sejam cumpridos. Essas respostas serão fundamentadas com base em livros ou artigos científicos de diversos autores, cujos problemas fossem similares aos apresentados neste capítulo.

A figura seguinte esquematiza, por ordem de análise, as perguntas a serem respondidas.

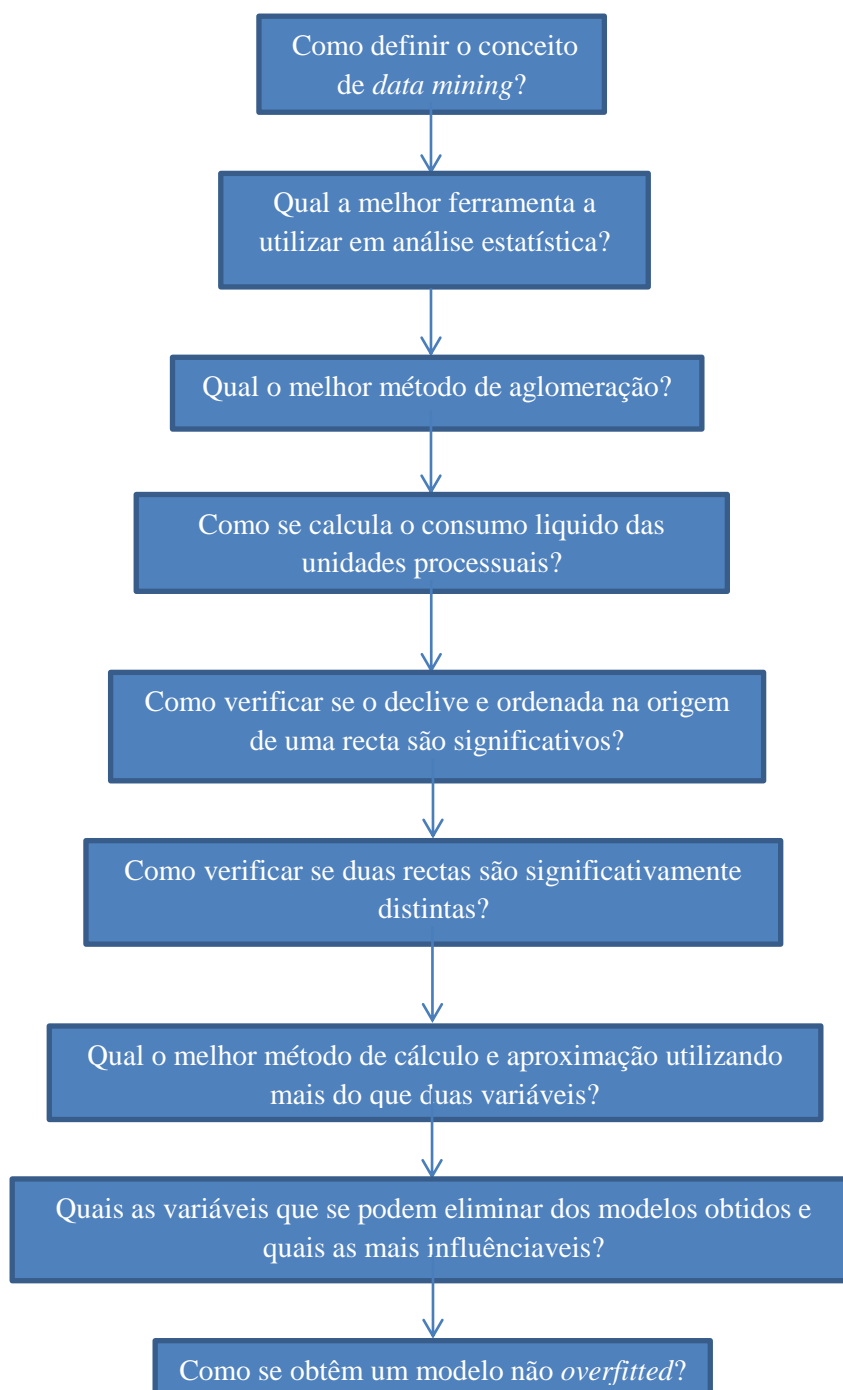


Figura 2.1-Esquemática de perguntas essenciais.

Iniciando a resolução das questões, *data mining* é o processo de solucionar problemas através da descoberta de padrões ou relações escondidas com base nas variáveis presentes na base de dados.[24] Este método pode ser aplicado em diversas áreas, como por exemplo:[25]

- Área financeira, de modo a classificar e associar os clientes entre facilidade de venda, através de marketing, ou detecção de crimes financeiros.
- Indústria de retalho, mais concretamente na análise multidimensional entre produtos, vendas, clientes e região.
- Área da saúde, de modo a prevenir readmissões de pessoas com sérios problemas de abuso de substâncias ou a prever o risco de uma certa população ter uma determinada doença.

Na dissertação, o processo de solucionar problemas – *data mining* – será aplicado com o intuito de otimizar a refinaria de Sines, encontrando padrões significativos escondidos, entre a enorme massa de dados da refinaria.

No caso da segunda pergunta, a resposta é menos óbvia, devido à enorme diversidade de programas, entre os quais se destacam o Orange, o Weka, o Rattle GUI, o ScaViS, o RapidMiner, o R, o Python, o Excel e o Minitab.

Apesar destes conterem propriedades bastante similares, como por exemplo serem *open source* e de fácil manuseamento, o programa escolhido será o R, mais especificamente o RStudio, devido à maior quantidade de artigos e livros encontrados com a utilização deste programa. Alguns exemplos que confirmam esta afirmação podem ser encontrados na biblioteca utilizada pelo programa que contem milhares de exemplos, e a partir do livro: “*R and Data Mining-Examples and Case Studies*”.

Após respondidas as duas perguntas iniciais, é realizada uma análise mais detalhada do primeiro objectivo da dissertação, surgindo assim uma pergunta essencial: qual o melhor método de aglomeração em análise estatística? De modo a responder a esta questão, da forma mais detalhada e concreta possível, é necessário a análise da solução de um problema de aglomeração generalizado. Normalmente a solução para um problema de aglomeração é a seguinte: [26-32]

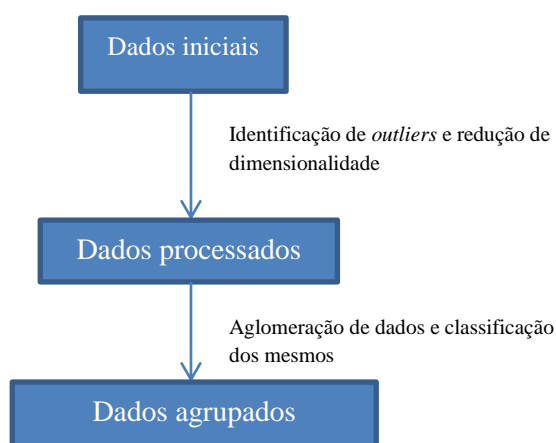


Figura 2.2-Representação da solução de um problema de aglomeração.

O primeiro passo desta solução é a identificação de *outliers*, sendo que estes dados não se encontram dentro de um intervalo de valores usualmente utilizado, podendo causar uma influencia negativa no resultado obtido. Esta identificação pode ser conseguida de diversas formas, dentro das quais se destacam:[33-36]

- Detecção univariada dos *outliers*, em que se utiliza por exemplo o método boxplot, de modo a identificar valores fora do normal;
- Detecção dos *outliers* com o factor *outlier* local, este método utiliza um algoritmo para identificar *outliers* com base na densidade;
- Detecção dos *outliers* por aglomeração, este método é bastante simples, pois qualquer ponto não atribuído a um grupo ou com distância elevada, em relação aos centros das aglomerações, é considerado como *outlier*;
- Detecção de *outliers* através de séries de tempo, em que se utiliza um modelo robusto de modo a identificar *outliers*.

Após a eliminação dos *outliers*, é necessário na maioria dos casos uma redução de dimensionalidade, pois grandes dimensionalidades podem provocar problemas a nível de distância euclidiana, correlações e aumento de volume dos dados. Os métodos mais utilizados para se executar essa redução são:[37]

1. Análise de componentes principais (PCA);
2. Análise de componentes independentes (ICA);
3. Análise de componentes principais através de métodos Kernel (KPCA).

Apesar de existirem vários métodos recentes, como o isomap ou o LaPlacian Eigenmaps, apenas os 3 métodos listados são analisados.

Quanto ao 1º método, usualmente o mais utilizado, é um método matemático cujo objetivo implica a transformação ortogonal de um conjunto de observações, possivelmente variáveis dependentes, num conjunto de valores constituídos por variáveis linearmente independentes, em que o primeiro componente apresenta uma maior variância em relação aos resultados.[38-40] De modo a garantir que os primeiros componentes principais descrevem a direcção de máxima variância é necessário realizar a subtracção do vector médio dos componentes principais.[38-42]

Considerando a matriz de dados como X e u como a média empírica ao longo de cada dimensão $m=1,\dots,M$, obtém-se a matriz de dados centralizados, B , sendo esta relação, representada através da seguinte equação:

$$B = X - uh$$

Equação 2.1-Centralização de dados.[42]

Em que:

- B representa a matriz de dados centralizados, de dimensões M por N ;
- X representa a matriz de dados originais, de dimensões M por N ;
- h representa um vector de dimensões 1 por N ;
- u representa o vector de média empírica, de dimensões M por 1 , sendo calculado através da seguinte equação:

$$u[m] = \frac{1}{N} * \sum_{n=1}^N X[m, n]$$

Equação 2.2-Média empírica.[42]

É então realizada a decomposição, em valores singulares de B , sendo esta representada pela equação seguinte: [41]

$$B = ADE^T$$

Equação 2.3-Decomposição de valores.

Na qual:

- A é a matriz ortogonal de autovetores, da matriz de covariância $B^T B$, de dimensão M por M ;
- D é a matriz diagonal rectangular com números reais não negativos, na diagonal de dimensão M por N ;
- E^T é a transposta da matriz de autovetores da matriz $B^T B$, de dimensão N por N .

Assim a partir da relação entre a matriz ortogonal de autovetores e a transposta da matriz de dados centralizados é realizada a transformação ortogonal, sendo que esta conserva a relação de igualdade entre o número de componentes principais e o número de variáveis originais, esta transformação é representada através da equação 2.4:[38, 39, 41, 42]

$$Y^T = B^T A = E D^T A^T A = E D^T$$

Equação 2.4-Transformação ortogonal.

Sendo:

- Y^T , matriz ortogonal da transformação PCA

Após a obtenção de Y^T , é possível observar as pontuações dos componentes principais, sendo que o índice da coluna da matriz corresponderá ao índice do componente principal. De modo a existir uma redução de dimensão pode-se representar B exclusivamente com os primeiros vectores singulares representados por L , sendo esta redução demonstrada através da seguinte equação:[38, 39, 41]

$$Y = A_L^T B = D_L E^T$$

Equação 2.5-Redução de dimensionalidade.

Na qual:

- A_L^T representa a matriz transposta de autovetores, definida exclusivamente pelos vectores singulares principais L .

O primeiro componente principal, corresponde a uma linha, que passa através da média multidimensional, minimizando a soma dos quadrados das distâncias dos pontos à linha, a principal diferença deste, em relação aos restantes componentes, será que os restantes componentes terão correlações e pesos na variância do resultado cada vez menores, devido à constante subtração de componentes. O cálculo do primeiro componente principal e dos restantes componentes são representados, respectivamente, através das equações 2.6 e 2.7.[38]

$$w_1 = \arg \max Var\{w^T B\} = \operatorname{argmax} E\{(w^T B)^2\}$$

Equação 2.6-Primeiro componente principal.

$$w_k = \operatorname{argmax} E\{(w^T \hat{B}_{k-1})^2\}$$

Equação 2.7-Cálculo de componentes principais.

Em que:

$$\hat{B}_{k-1} = B - \sum_{i=1}^{k-1} w_i w_i^T B$$

Equação 2.8- Matriz ajustada por eliminação de componentes.

Em termos práticos, o PCA pode ser analisado através de duas maneiras:

- Decomposição em valores singulares, sendo este o mais usual.
- Método da covariância, que fornecerá uma pior precisão numérica e não será eficiente para uma maior dimensionalidade de dados.

Como resultado final, o PCA tende a descartar dimensões, cuja perda de informação seja inferior a 5% da variação do resultado que se pretende obter. Em termos práticos, este método permitirá não só reduzir a dimensionalidade dos modelos, como também verificar quais as variáveis com maior influência no resultado final. A figura seguinte representa o processo de transformação dos dados através do PCA.

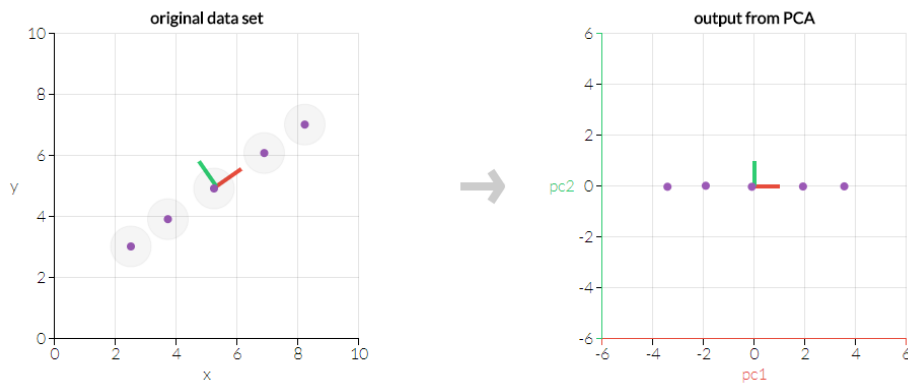


Figura 2.3-Representação do processo PCA.[43]

Tendo sido concluída a análise ao processo PCA, seguiu-se o estudo do processo ICA, sendo este utilizado na separação de sinais multivariados, de modo a extrair componentes escondidos e estatisticamente independentes. [44-47] O objectivo deste método implica encontrar os componentes independentes (s) do vetor de dados estudados (x) utilizando uma transformação linear. A função seguinte representa a relação linear entre a variável s e a matriz mista A , para um dado x .

$$x = \sum_{k=1}^n s_k a_k = As$$

Equação 2.9- ICA sem ruído.[44]

Após estimada a matriz A , a sua matriz inversa pode ser utilizada de modo a se calcular s , como demonstrado através da seguinte equação:

$$s = A^{-1}x$$

Equação 2.10-Cálculo dos componentes principais.[44]

Em termos práticos, o inverso da matriz A pode ser calculado através do algoritmo FastICA. Esta matriz é utilizada para encontrar componentes com medidas não gaussianas máximas através de negentropia.

O KPCA, em oposição aos anteriores métodos analisados, assume que os dados foram transformados de forma não linear, utilizando uma função não linear $\phi(x)$. Neste método é utilizado o PCA após a transformação, de modo a se reduzir a dimensionalidade dos dados

analisados.[44] A matriz de análise, designada por kernell, é então definida através da seguinte equação:

$$K_{ij} = (\phi(x_i) \cdot \phi(x_j))$$

Equação 2.11-Matriz Kernell.[44]

Esta matriz permitirá assim, o cálculo dos vectores, utilizando o mapa não linear, sem saber a forma do mesmo. Os dados são reduzidos, de maneira não linear, através da decomposição do *eigenvalue*. [44] Com o objectivo de, determinar o número de componentes a utilizar, é utilizado o *eigenvalue* médio como método de eliminação, já que são utilizados apenas os componentes principais com *eigenvalues* superiores à média.

Após a análise dos métodos de redução de dimensionalidade, através de diversos exemplos, chegou-se à conclusão que o melhor método a utilizar na dissertação será o PCA, devido à maior variabilidade de resultados e ao facto de este ser mais reconhecível que os restantes na comunidade científica.

Após a redução de dimensionalidade, o passo seguinte é a aglomeração dos dados, em classes. Os métodos mais frequentes em *data mining* são os seguintes:[26, 29, 30, 48]

1. *K-means clustering*;
2. Agloerações baseadas em densidade espacial de aplicações com ruído (DBSCAN).

Apesar de existirem uma enorme quantidade de métodos de aglomeração, como por exemplo BIRCH ou *mean shift clustering*, ou até métodos hierárquicos, os métodos mais reconhecidos e com maior quantidade de exemplos são: o *K-means clustering* e o DBSCAN, sendo estas as razões principais da análise dos dois métodos.

O *K-means clustering* é um dos métodos de aglomeração mais simples e conhecidos, assumindo o número de aglomerações esféricas necessárias para a resolução do problema. São então definidos os centros correspondentes a cada aglomeração, com base em observações escolhidas ao acaso do conjunto de dados em estudo. Estes centros são localizados de modo a ficarem com a maior distância possível entre si. É então atribuída a cada observação, uma aglomeração, com base na menor distância entre a observação e o centro da aglomeração. Após terem sido atribuídas todas as observações às respectivas aglomerações, é de novo repetido o processo de cálculo do centro das aglomerações e atribuição de aglomeração às observações, até os centros das aglomerações ficarem estagnados.[49-52]

A equação seguinte representa o método de cálculo utilizado na atribuição de uma aglomeração a uma observação.

$$SSE(C) = \sum_{k=1}^K \sum_{x_i \in C_k} \|x_i - \mu_k\|^2$$

Equação 2.12-*K-means clustering*[49]

Em que:

- x_i representa um dado observado;
- c_k representa uma das aglomerações obtidas;
- μ_k representa média da aglomeração.

O DBSCAN também é um método de aglomeração bastante simples e de ampla utilização. Este localiza regiões de alta densidade de qualquer forma, separadas por regiões de baixa densidade.[53-55] Este divide os dados em três grupos:

- O primeiro grupo corresponde ao corpo da aglomeração, onde é apresentada a maior densidade, população de dados e distância de separação entre as aglomerações obtidas;
- O segundo grupo é constituído por dados perto da barreira de separação entre as aglomerações, sendo estes um número inferior ao mínimo permitido para formar uma aglomeração;
- O terceiro grupo é constituído por dados não pertencentes a qualquer grupo.

À semelhança do método *K-means clustering*, o DBSCAN é um método iterativo, só estando completo quando a aglomeração estagnar, porém é muito mais robusto que o anterior, sendo eliminados os dados do terceiro grupo na obtenção final das aglomerações.

Apesar dos dois métodos serem bastante diferentes, uma vez que o método *K-means clustering* é utilizado com maior frequência e obtem melhores resultados em artigos e exemplos, este foi seleccionado como o melhor método para aglomerar os dados e portanto identificado como a solução mais correcta a aplicar, podendo este ser substituído pelo método DBSCAN, se não se revelar eficaz.

Assim sendo pode-se concluir que os melhores métodos para solucionar um problema de aglomeração, após a eliminação dos *outliers*, será a utilização do PCA, seguido do *K-means clustering*.

Dado que o consumo líquido das unidades processuais da refinaria é um assunto específico da própria, o estudo do consumo será realizado com base em diversos relatórios internos. Como referenciado anteriormente, cada unidade processual tem consumos líquidos distintos. Estes consumos são constituídos por três grupos principais: a electricidade, o vapor e o combustível.[56] De seguida, encontra-se representado, através da figura 2.4, o esquema geral das fontes de consumo na refinaria.

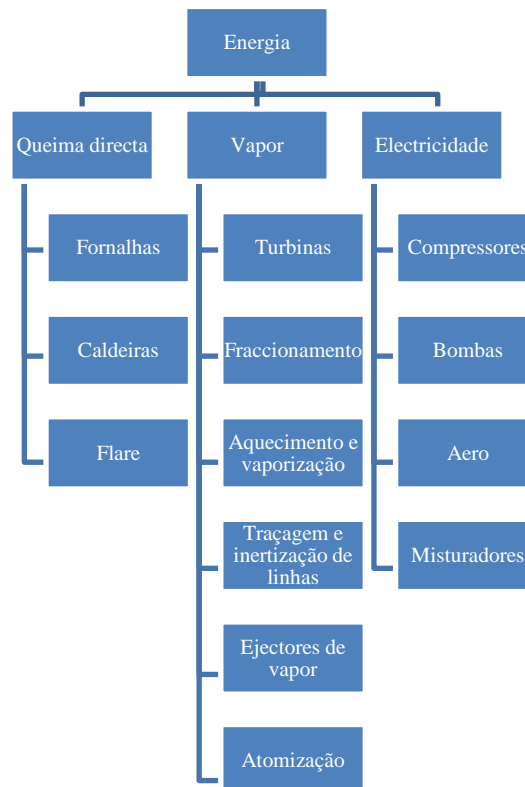


Figura 2.4-Fontes de consumo na refinaria.

Dado que as utilidades têm massas distintas, ou seja, 1kg de vapor 3.5 barg é diferente de 1 kg de vapor 10.5 barg, devido à entalpia de cada vapor, procede-se à utilização da unidade gás natural equivalente como uma unidade de normalização entre as utilidades.

O consumo líquido de vapor, nas unidades processuais, é equivalente ao somatório dos consumos líquidos dos diferentes tipos de vapor existentes na unidade, sendo esta relação representada através da seguinte equação.

$$\text{Consumo líquido vapor} = \sum_{x=1}^n ((\text{Consumo Vapor}_n - \text{Produção Vapor}_n) * \frac{\text{Entalpia do vapor}_n * 1000}{\text{PCI mássico do gás natural}})$$

Equação 2.13-Consumo líquido de vapor.

Sendo:

- n a representação do número de vapores existentes na unidade processual;
- Consumo líquido vapor, $\frac{\text{KgGNE}}{\text{h}}$;
- Consumo Vapor, $\frac{\text{tonVapor}}{\text{h}}$;
- Produção Vapor, $\frac{\text{tonVapor}}{\text{h}}$;
- PCI mássico do gás natural, $\frac{\text{Kcal}}{\text{KgGNE}}$;
- Entalpia do vapor, $\frac{\text{Kcal}}{\text{KgVapor}}$.

Com exceção da unidade FCC, o consumo líquido de eletricidade será idêntico ao bruto. A equação seguinte representa o cálculo do consumo líquido de eletricidade.

Consumo líquido = (Consumo de eletricidade – Produção de eletricidade) *

$$\frac{860.42 * 1000}{\text{horas de funcionamento mensal} * 0.609 * \text{PCI mássico do gás natural}}$$

Equação 2.14-Consumo líquido de eletricidade.

Em que:

- Consumo líquido de eletricidade, $\frac{\text{KgGNE}}{\text{h}}$;
- Consumo de eletricidade, MWh;
- Produção de eletricidade, MWh.

O consumo de combustível é constituído por uma enorme variação de utilidades individuais. Por exemplo no HR o combustível é constituído por tail gás, gás natural e fuel gás.

O consumo bruto de combustível é representado pela seguinte equação:

$$\text{Consumo combustível} = \sum_{x=1}^n (\frac{\text{Consumo}_n * \text{PCI massico}_n}{11820})$$

Equação 2.15-Consumo bruto de combustível.

Sendo que:

- n corresponde ao número de utilidades que constituem o combustível;
- Consumo combustível, $\frac{\text{KgGNE}}{\text{h}}$;
- Consumo, $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$;
- PCI mássico, $\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$.

A partir do somatório dos três principais grupos de utilidades é obtido o consumo líquido da unidade em estudo, sendo este representado através da seguinte equação.

$$\text{Consumo líquido da unidade processual} = \text{Consumo líquido vapor} + \text{Consumo líquido electricidade} + \text{Consumo combustível}$$

Equação 2.16-Consumo líquido da unidade processual.

Na refinaria, o método utilizado para representar os consumos líquidos designa-se por programação linear (PL), este é uma correlação linear simples em que geralmente o único preditor é a quantidade de carga da unidade, podendo existir exceções.[57] O declive desse método é designado por consumo específico, sendo a ordenada na origem designada por *Plant base load* (PBL), ou consumo de gás natural horário, em que o consumo varia exclusivamente com base no número de dias de operação.[57]

Sendo unicamente uma regressão linear, o PL apresenta várias limitações, como por exemplo:[57]

- O consumo real das unidades não é proporcional à carga tratada.
- Uma unidade que trabalha a 50%, durante 30 dias, é idêntica a uma unidade que trabalhe a 100%, durante 15 dias.
- Não existe diferenciação da quantidade de fuel queimado, electricidade e vapor consumidos por cada unidade.

De modo, a estabelecer uma comparação significativa entre os modelos do PL das unidades processuais em estudo e os obtidos na dissertação é necessário um estudo estatístico detalhado quanto ao declive e à ordenada na origem das rectas obtidas. A principal questão a responder, antes de se proceder à análise, será: como verificar se o declive e a ordenada na origem são significativos, e o que fazer se um deles não for.

De um modo geral, os modelos lineares são representadas pela seguinte equação:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i, i = 1, 2, \dots, n$$

Equação 2.17-Regressão linear simples.[58]

O cientista alemão Karl Gauss propôs estimar os coeficientes de regressão utilizando o método dos mínimos quadrados que tem como objectivo a minimização do somatório dos quadrados dos desvios verticais, entre os pontos observados e a recta calculada.[58] Seguindo o método dos mínimos quadrados, os coeficientes de regressão são estimados, utilizando as equações 2.18 e 2.19:

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

Equação 2.18-Cálculo do estimador da ordenada na origem.[59]

$$\hat{\beta}_1 = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}$$

Equação 2.19-Cálculo do estimador do declive.[59]

Em que:

$$\bar{y} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n y_i$$

Equação 2.20-Cálculo da resposta média.[59]

$$\bar{x} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n x_i$$

Equação 2.21-Cálculo do preditor médio.[59]

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Equação 2.22-Cálculo da variável S_{xx} .[60]

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n y_i (x_i - \bar{x})$$

Equação 2.23-Cálculo da variável S_{xy} .[60]

Após estimados os coeficientes de regressão, a regressão estimada representa-se segundo a equação 2.24:

$$y_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i + e_i, i = 1, 2, \dots, n$$

Equação 2.24-Regressão linear estimada.[59]

Sendo:

$$e_i = y_i - \hat{y}_i$$

Equação 2.25-Cálculo do resíduo.[59]

O somatório do quadrado dos resíduos designa-se por SS_E , sendo representado pela equação 2.26:

$$SS_E = \sum_{i=1}^n e_i^2$$

Equação 2.26-Cálculo do somatório do quadrado dos resíduos.[61]

O estimador da variância da recta é calculado através da equação 2.27:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{SS_E}{n - 2}$$

Equação 2.27-Cálculo do estimador da variância.[61]

Sendo de extrema importância na análise, o erro normalizado do declive e da ordenada na origem são representados pelas equações seguintes:

$$se(\hat{\beta}_1) = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}^2}{S_{xx}}}$$

Equação 2.28-Cálculo do estimador do erro normalizado do declive.[62]

$$se(\hat{\beta}_0) = \sqrt{\hat{\sigma}^2 \left[\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{S_{xx}} \right]}$$

Equação 2.29-Cálculo do estimador do erro normalizado da ordenada na origem.[62]

Após analisado o método de obtenção dos estimadores dos coeficientes de regressão linear, iniciou-se a análise estatística ao declive, de modo a verificar se este é significativo. É então realizado um teste de hipóteses bilateral, com as seguintes hipóteses:

$$H_0: \beta_1 = 0 \text{ (Hipótese nula)}$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0 \text{ (Hipótese alternativa)}$$

Equação 2.30-Hipóteses do teste bilateral ao declive.[63]

Após definida a hipótese nula e alternativa, utiliza-se como teste estatístico um t-student,[63] sendo este representado através da equação 2.31:

$$t_0 = \frac{\hat{\beta}_1}{se(\hat{\beta}_1)}$$

Equação 2.31-Teste estatístico ao declive.

A hipótese nula é rejeitada se:

$$|t_0| > t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$$

Equação 2.32-Condição de rejeição da hipótese nula.[63]

Sendo:

- α , Nível de significância;
- n , Número de graus de liberdade.

Se a hipótese nula não for rejeitada, conclui-se que um de dois casos ocorre, ou que o melhor estimador das observações, para qualquer valor do preditor é a média das observações, ou que a relação entre o preditor e a resposta poderá ser outra que não a linear. Existem vários métodos utilizados para rejeitar a hipótese nula, porém o mais utilizado é o representada pela equação 2.32, sendo a sua alternativa mais utilizada, a utilização do *p-value*, em que quando este é menor que o nível de significância, conclui-se que o declive é significativo.

Quanto à ordenada na origem, o raciocínio é bastante semelhante ao utilizado para o declive, sendo as hipóteses estudadas, representadas através da equação 2.33.

$$H_0: \beta_0 = 0 \text{ (Hipótese nula)}$$

$$H_1: \beta_0 \neq 0 \text{ (Hipótese alternativa)}$$

Equação 2.33-Hipóteses do teste bilateral à ordenada na origem.[63]

O teste estatístico é então realizado através da equação 2.34:

$$t_0 = \frac{\hat{\beta}_0}{se(\hat{\beta}_0)}$$

Equação 2.34-Teste estatístico à ordenada na origem.

A hipótese nula é rejeitada se:

$$|t_0| > t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$$

Equação 2.35-Condição de rejeição da hipótese nula.[63]

Se a hipótese nula for rejeitada, conclui-se que quando o preditor é nulo o valor da observação também será nulo.

Na dissertação é essencial, não só verificar se o declive e ordenada são significantes no próprio modelo, como também verificar se estes são significantes entre declives e ordenadas de outros modelos, contudo este é um tópico com informação bastante reduzida, sendo também utilizados vários métodos de forma incorrecta, como por exemplo a utilização da intersecção dos intervalos de confiança dos declives e das ordenadas na origem de diferentes rectas. O método analisado mais coerente foi a utilização de testes de hipóteses, fornecidos por pacotes de diversas ferramentas informáticas, sendo estes analisados detalhadamente ao longo do capítulo.

A equação seguinte representa as hipóteses estudadas para a diferenciação dos declives das rectas, sendo que a hipótese nula representa a igualdade entre os declives das rectas e a hipótese alternativa a desigualdade.

$$H_0: \hat{\beta}_1 = \hat{\beta}_2 \text{ (Hipótese nula)}$$

$$H_1: \hat{\beta}_1 \neq \hat{\beta}_2 \text{ (Hipótese alternativa)}$$

Equação 2.36- Hipóteses do teste bilateral à diferença entre declives.

Podem ser utilizados dois métodos distintos de análise estatística com base nas propriedades do material em estudo.

No primeiro método não é assumida homogeneidade entre os erros das variâncias dos grupos em estudo, sendo estes constituídos por uma população superior a 25.[64] Este inicia-se por um teste bilateral estatístico normal (z) representado pela equação 2.37:

$$z = \frac{\hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2}{\sqrt{se(\hat{\beta}_1)^2 + se(\hat{\beta}_2)^2}}$$

Equação 2.37-Teste estatístico normal à diferença de declives.

Sendo um teste bilateral, rejeita-se a hipótese nula se:

$$p - value_{\text{calculado}} = 2 * P(z) < \alpha$$

Equação 2.38-Condição de rejeição de hipótese nula.

Sendo:

- α , nível de significância;
- $P(z)$, probabilidade.

No método alternativo, assume-se homogeneidade nas variâncias,[64] podendo ser utilizado como teste estatístico o t-student, representado pela equação 2.39:

$$t = \frac{\hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2}{\sqrt{se(\hat{\beta}_1)^2 + se(\hat{\beta}_2)^2}}, \text{ com } (n - 4) \text{ graus de liberdade}$$

Equação 2.39-Teste estatístico para a diferença de declives.

A hipótese nula é rejeitada se:

$$|t_0| > t_{\frac{\alpha}{2}, n-4}$$

Equação 2.40-Condição de rejeição da hipótese nula.

Tendo sido concluída a análise aos declives, procedeu-se através do mesmo raciocínio à análise das ordenadas da origem. A equação 2.41 representa as hipóteses estudadas para a diferenciação das ordenadas na origem das rectas, sendo que a hipótese nula representa a igualdade entre as ordenadas na origem das rectas e a hipótese alternativa a desigualdade.

$$H_0: \hat{\alpha}_1 = \hat{\alpha}_2$$

$$H_1: \hat{\alpha}_1 \neq \hat{\alpha}_2$$

Equação 2.41-Hipóteses de teste bilateral à diferença entre as ordenadas na origem.

De maneira semelhante à análise da diferença dos declives, podem ser utilizados dois métodos distintos de análise estatística com base nas propriedades do material em estudo.

No primeiro método não é assumida homogeneidade entre os erros das variâncias dos grupos em estudo, sendo estes constituídos por uma população superior a 25.[64] Este inicia-se por um teste bilateral estatístico normal (z) representado pela equação 2.42:

$$z = \frac{\hat{\alpha}_1 - \hat{\alpha}_2}{\sqrt{se(\hat{\alpha}_1)^2 + se(\hat{\alpha}_2)^2}}$$

Equação 2.42-Teste estatístico normal à diferença entre as ordenadas na origem.

Sendo um teste bilateral, verifica-se se a hipótese nula é rejeitada através da equação 2.38.

No método alternativo, assume-se homogeneidade nas variâncias,[64] podendo ser utilizado como teste estatístico o t-student, representado pela equação 2.43:

$$t = \frac{\hat{\alpha}_1 - \hat{\alpha}_2}{\sqrt{se(\hat{\alpha}_1)^2 + se(\hat{\alpha}_2)^2}}, \text{ com } (n - 4) \text{ graus de liberdade}$$

Equação 2.43-Teste estatístico utilizado para a diferença entre as ordenadas na origem.

Através da equação 2.40, verifica-se se a hipótese nula é rejeitada.

Após a análise dos métodos, conclui-se que: se não se rejeitar pelo menos uma das duas hipóteses nulas, para o caso da diferença de declives e ordenadas, então os modelos em estudo não serão significativamente diferentes um do outro. Dado que os modelos estatísticos utilizados na dissertação não têm muitas das vezes um único preditor mas vários, é essencial verificar, entre os modelos tradicionais (como por exemplo, os modelos exponencial, logarítmico, polinomial e linear) qual o que melhor se adapta a múltiplos preditores.

Os modelos multilineares são muito utilizados devido à baixa possibilidade de existir *overfitting* nos modelos obtidos. Assim, este tipo de modelo será a base para o começo da análise estatística, entre uma resposta e diversos preditores. Um dos problemas destes modelos de preditores múltiplos é o facto de estes possuírem pesos diferentes. Um exemplo na operação da refinaria será a diferença entre uma temperatura que varia entre os 20 e os 40.º C, e um

caudal que varia entre os 1100 e 1200 ton/h. De modo a que o peso das variáveis não influencie a escolha das variáveis mais significativas e influenciáveis no modelo, é realizada uma normalização destas, dado que o coeficiente de regressão, sem estar normalizado, não é um método correcto de escolha.[65] Quanto à escolha das variáveis a eliminar, são usualmente utilizados critérios como: o *p-value* elevado, o coeficiente de normalização baixo e a variação baixa do coeficiente de determinação com a eliminação da variável.

De modo a analisar a significância dos coeficientes individuais numa regressão multilinear estudou-se o teste de hipóteses individual dos coeficientes, o coeficiente de determinação e os coeficientes normalizados, de modo geral, para uma regressão multilinear.

De modo idêntico ao declive da regressão linear, as hipóteses de teste bilateral dos coeficientes de uma regressão multilinear são as seguintes:

$$H_0: \beta_j = 0 \text{ (Hipótese nula)}$$

$$H_1: \beta_j \neq 0 \text{ (Hipótese alternativa)}$$

Equação 2.44-Hipóteses do teste bilateral aos coeficientes individuais de uma regressão multilinear.[66]

Sendo:

- j , número do coeficiente.

À semelhança das hipóteses de teste estudadas, o teste estatístico será semelhante ao do declive da regressão linear, sendo o teste representado pela seguinte equação:

$$t_o = \frac{\hat{\beta}_j}{se(\hat{\beta}_j)}$$

Equação 2.45-Teste estatístico utilizado para os coeficientes individuais de uma regressão multilinear.

Sendo:

$$se(\hat{\beta}_j) = \sqrt{\hat{\sigma}^2 C_{jj}}$$

Equação 2.46- Cálculo do erro normalizado dos coeficientes individuais de uma regressão multilinear.[67]

Em que:

$$\hat{\sigma}^2 = MS_E = \frac{SS_E}{n - p}$$

Equação 2.47-Cálculo do estimador da variância.[67]

- p , número de coeficientes na regressão;
- C_{jj} , somatório dos quadrados dos elementos do preditor em estudo.

A condição nula é rejeitada se:

$$|t_o| > t_{\alpha/2, n-p}$$

Equação 2.48-Condição de rejeição da hipótese nula.[66]

A aceitação da hipótese nula indica que o preditor em estudo pode ser eliminado do modelo.

Procedendo ao estudo superficial do coeficiente de determinação (R^2), este é definido através da equação 2.49:

$$R^2 = 1 - \frac{SS_E}{S_{yy}}$$

Equação 2.49-Coeficiente de determinação.[68]

Em que:

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2 / n$$

Equação 2.50-Cálculo do S_{yy} .

O coeficiente de determinação é uma ótima técnica para verificar se o modelo é adequado ou não. É considerada uma boa correlação se o coeficiente for superior a 0.8, porém se este for muito próximo de 1 há a possibilidade de existir *overfitting* e o modelo não ser o mais adequado. Quanto aos coeficientes normalizados, como referido anteriormente, estes minimizam a magnitude do peso dos preditores, fazendo assim, com que seja mais fácil determinar quais os preditores de maior importância. A relação entre os coeficientes não normalizados e os normalizados é representada através da equação 2.51:

$$\hat{\beta}_j = \hat{b}_j \left(\frac{S_{yy}}{C_{jj}} \right)^{\frac{1}{2}}, j = 1, 2, \dots, k$$

Equação 2.51-Relação entre o coeficiente original e o normalizado.[69]

Sendo:

- \hat{b} , estimador do coeficiente normalizado.

Conclui-se assim que quanto maior o coeficiente normalizado de uma variável, maior será a importância desta no modelo. Porém, como referenciado anteriormente, o facto destas propriedades apresentarem valores aceitáveis não implica que o modelo seja adequado, este pode estar tão ajustado aos dados estudados que poderá estar *overfitted*, ou seja, o modelo pode ser constituído por preditores que apenas calculam valores correctos para os dados do estudo, e não para os demais. Deste modo, é essencial verificar como evitar o *overfitting*.

Com base em diversos exemplos, antes de definir um modelo, é essencial ter um vasto número de dados, de modo a que estes não indiquem comportamentos falsos.[70] Após a obtenção de uma vasta colecção de dados e da formulação de um modelo sem variáveis não significativas, o método mais utilizado para verificar se não existe *overfitting* do modelo, designa-se por *cross validation*,[71] porém primeiro é essencial segmentar os dados.

Deste modo, criam-se os seguintes grupos de dados:[72]

- Dados de treino que têm como objectivo criar o modelo inicial, através da optimização dos coeficientes dos preditores utilizados.
- Dados de validação que são utilizados para otimizar hiperparâmetros, como a arquitetura do modelo.
- Dados de teste que são utilizados como teste final de modo a verificar se o modelo é bom preditor ou se está *overfitted*. Isto evita “viciar” o modelo no conjunto dos dados de teste e confere-lhe generalidade de previsão.

A figura seguinte representa a separação do conjunto de dados original.

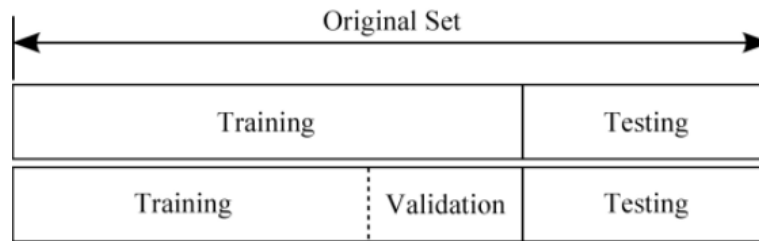


Figura 2.5-Separação do conjunto de dados original.[73]

A figura 2.6 representa a aproximação de dois modelos aos dados de treino e de teste, sendo o modelo a laranja um modelo *overfitted*, e o modelo a verde um modelo bastante menos *overfitted*, porém ainda longe do ideal.

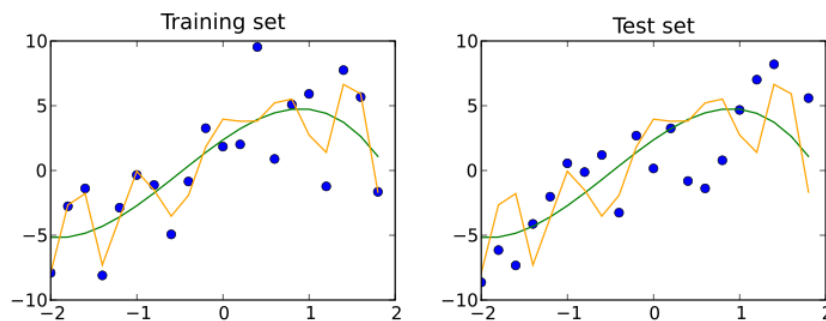


Figura 2.6-Comparação entre modelos com diferentes dados.[74]

Apesar das passagens de treino e teste serem de alta importância, o principal factor analisado é a validação do modelo, pois esta contém uma grande diversidade de métodos com o objectivo de evitar o *overfitting*. Os dois métodos principais de definição dos dados de validação são:[75-80]

- Método *holdout*, em que uma fracção dos dados de treino são postos de parte de modo a constituírem, mais tarde, o grupo de validação;
- *Cross validation*, em que as partições são repetidas e feitas ao acaso.

Dada a existência de um maior número de exemplos de *cross validation*, este método será visto como o principal a analisar e a utilizar. Uma das principais razões para a maior utilização deste em relação à validação convencional é o facto de, grande parte das vezes, não existir dados suficientes de modo a criar uma partição que não perca capacidade de teste.

Os tipos de *cross validation*, assim como alguns exemplos destes, são representados através da figura 2.7:

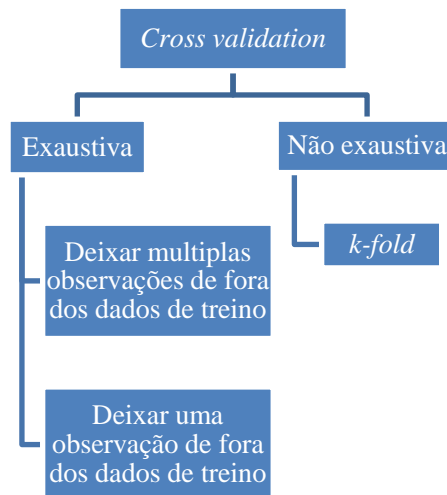


Figura 2.7-Tipos de *cross validation*.

Existem dois grupos principais de validações, estes são:

- As validações exaustivas, que estudam e analisam todas as maneiras possíveis de dividir os dados em conjuntos de treino e validação;
- As validações não exaustivas, que utilizam aproximações das validações exaustivas.

O método que se baseia em deixar multiplas observações de fora dos dados de treino implica a repetição de todas as partições possíveis dos dados originais nos conjuntos de treino e validação de modo a melhorar a arquitetura do modelo. Um caso especial deste método é a possibilidade de deixar uma observação de fora dos dados de treino. A principal desvantagem destes métodos é o tempo decorrido para processar todos os dados analisados. No método anteriormente analisado, se cem observações forem repartidas da forma normal, ou seja, 70% para os dados de treino e 30% para a validação, este método fará cerca de $C_{30}^{100} = 3 * 10^{25}$ validações.

Quanto aos métodos não exaustivos, estes são usualmente realizados através do método *k-fold*. Este divide os dados ao acaso, em *k* conjuntos distintos, sendo que um único conjunto será identificado como o conjunto de validação, sendo os restantes considerados conjuntos de treino. Este processo é repetido *k* vezes, sendo que cada conjunto fraccionado a partir do original será utilizado como validação uma única vez. Os resultados deste método são a média dos resultados produzidos por partições diferentes.

A figura seguinte representa o método *k-fold*.

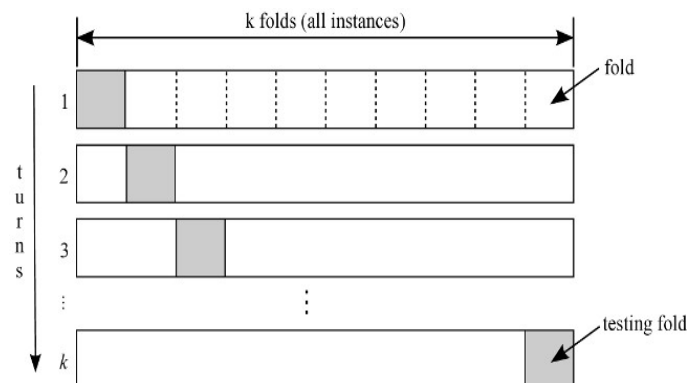


Figura 2.8-Método *k-fold*.[\[73\]](#)

Após a análise de todas as questões que perturbavam o desenvolvimento da dissertação, conclui-se que, se forem utilizados raciocínios semelhantes aos demonstrados ao longo deste capítulo, é possível atingir os objectivos da mesma.

Capítulo 3- Metodologia

O presente capítulo tem como objetivo demonstrar todo o raciocínio utilizado na dissertação, de forma a atingir os objectivos propostos nesta, pelo que no capítulo seguinte todos os resultados obtidos (através do raciocínio utilizado neste capítulo) são analisados em detalhe. Devido às razões discutidas no capítulo 2, ao longo desta dissertação foi utilizado o programa R, sendo que também se procedeu à utilização de programas, como o minitab e o neural designer, de modo auxiliar. No Anexo B, encontram-se descritos todos os pacotes utilizados do programa R nesta dissertação.

De modo a realizar o primeiro objetivo da dissertação (propôr modelos de cálculo para os consumos líquidos da destilação atmosférica, vácuo I e vácuo II, em função do tipo de programa de fabrico (*sour/sweet*)) é necessário identificar dois tipos de programas de fabrico, o *sweet* e o *sour*, sendo estes identificados através da aglomeração de diferentes variáveis. Após um estudo intensivo da destilação atmosférica, verificou-se que as propriedades controláveis que distinguem com maior significância os tipos de programa são:

- Densidade do crude;
- Rendimento do RAT;
- Caudal de armazenagem do RAT;
- Densidade do RAT;
- Caudal de alimentação da destilação atmosférica;
- Teor de enxofre do crude.

Dado que os dois programas apresentam características opostas, para um programa *sour* é de antecipar o seguinte:

- Densidade elevada do crude;
- Rendimento elevado do RAT;
- Caudal baixo de armazenamento do RAT;
- Densidade elevada do RAT;
- Caudal elevado de alimentação da destilação atmosférica;
- Teor elevado de enxofre do crude.

Para retirar os valores referentes a estas propriedades foi consultado o sistema de controlo distribuído DCS, sendo este o sistema virtual da refinaria em que é possível coincidir visualmente o identificativo informático com a propriedade que se pretende analisar. Este identificativo é designado por TAG, ou seja, um ficheiro de armazenamento de dados electrónicos, incorporado no sistema da galp energia, com o intuito de armazenar valores registados, através de medidores de orifício, sendo que, estes funcionam com base no Princípio de Bernoulli.

De modo a distinguir as TAGS, foram implementados os seguintes critérios quanto aos diversos equipamentos e propriedades:

- As 2 primeiras letras das TAGS localizam a unidade onde se encontra o equipamento que se pretende analisar;
- As restantes letras indicam a propriedade que se pretende analisar.

Após a identificação da TAG, é utilizado o programa *Aspen Process Explorer*, de modo a se transferirem os valores pretendidos para análise para um ficheiro de armazenamento de dados, normalmente em excel. Nesse programa, existem diferentes métodos de cálculo a utilizar, de modo a se agruparem estes dados o método usualmente utilizado na refinaria e o que será implementado nesta dissertação será o método de cálculo da média, com o período de tempo de

1 dia e o método de agregação integral. Estes tipos de dados estão sujeitos a erros de uma maneira geral, devido ao fecho do balanço de massas na refinaria, sendo necessária uma análise estatística de identificação de *outliers* dos valores retirados.

Após retirados os valores de 1 de Janeiro de 2015 a 1 de Janeiro de 2017, foi concluído que as melhores variáveis para uma separação significativa de programas seriam:

- Densidade do crude;
- Rendimento do RAT;
- Caudal de armazenagem do RAT;
- Densidade do RAT;

No Anexo C, encontra-se a TAG referente a cada propriedade concluída como sendo a melhor para uma separação eficiente de programas. Estas foram consideradas as melhores variáveis, pois estão coerentes com o esperado e apresentam uma separação significativa de dois grupos ao longo do tempo estudado. As visualizações gráficas, por parte da ferramenta R, são feitas por parte do pacote `ggplot2`, `gplots`, ou `graphics`, sendo estes pacotes reconhecidos por apresentarem gráficos de alta qualidade. Apesar de já ter sido indicado que os pacotes utilizados do programa R se encontram no Anexo B, os principais pacotes são descritos superficialmente ao longo deste capítulo, de modo a completar o raciocínio exposto.

Devido à baixa dimensão dos dados não é necessária uma PCA, porém de modo aos pesos das variáveis não terem qualquer influencia nos resultados finais da aglomeração foi utilizado um método de normalização designado por desvio padrão médio, em que se subtrai o valor real à média das observações da mesma variável, dividindo-se então essa diferença pelo seu desvio padrão. Este método foi conseguido através do pacote `stats`, do qual se retirou a função `scale`, assim como a função `as.data.frame`. Após a normalização dos valores, foi utilizada a função mencionada no segundo capítulo como sendo a melhor a realizar aglomerações, ou seja, a função `k-means`, estando esta associada ao pacote `stats`.

Esta foi utilizada pois a diferenciação das aglomerações, apesar de ser significativa, no caso de uma ou duas variáveis em função do tempo, ainda poderia ser otimizada devido a uma quantidade significativa de valores que não se encontravam dentro de qualquer aglomeração. Utilizando as quatro variáveis acima mencionadas, criaram-se dois grupos de aglomerações significativas, em que os valores fora destas representam menos de 4% das observações totais utilizadas.

De modo a verificar se estas aglomerações possuíam as propriedades de forma coincidente com a teoria, foi utilizado uma PCA, ou seja, uma decomposição de valores singulares, através da função `prcomp`, sendo também, analisada a decomposição de forma gráfica, através da função `fviz_pca`. Estas funções estão localizadas no pacote `stats` e `factoextra`, respectivamente. Foi então possível formar duas aglomerações, em que as suas características coincidem com o que se seria de esperar em termos teóricos. Dado que as aglomerações são significativas e coincidem com o que seria de esperar, foi utilizado o pacote `Rcmdr` de modo a se realizar um biplot, sendo que o número da observação estudada coincidirá com a classe atribuída, e essa relação será transferida para o excel.

O esquema seguinte representa as etapas utilizadas na dissertação até à solução final do problema de aglomeração:

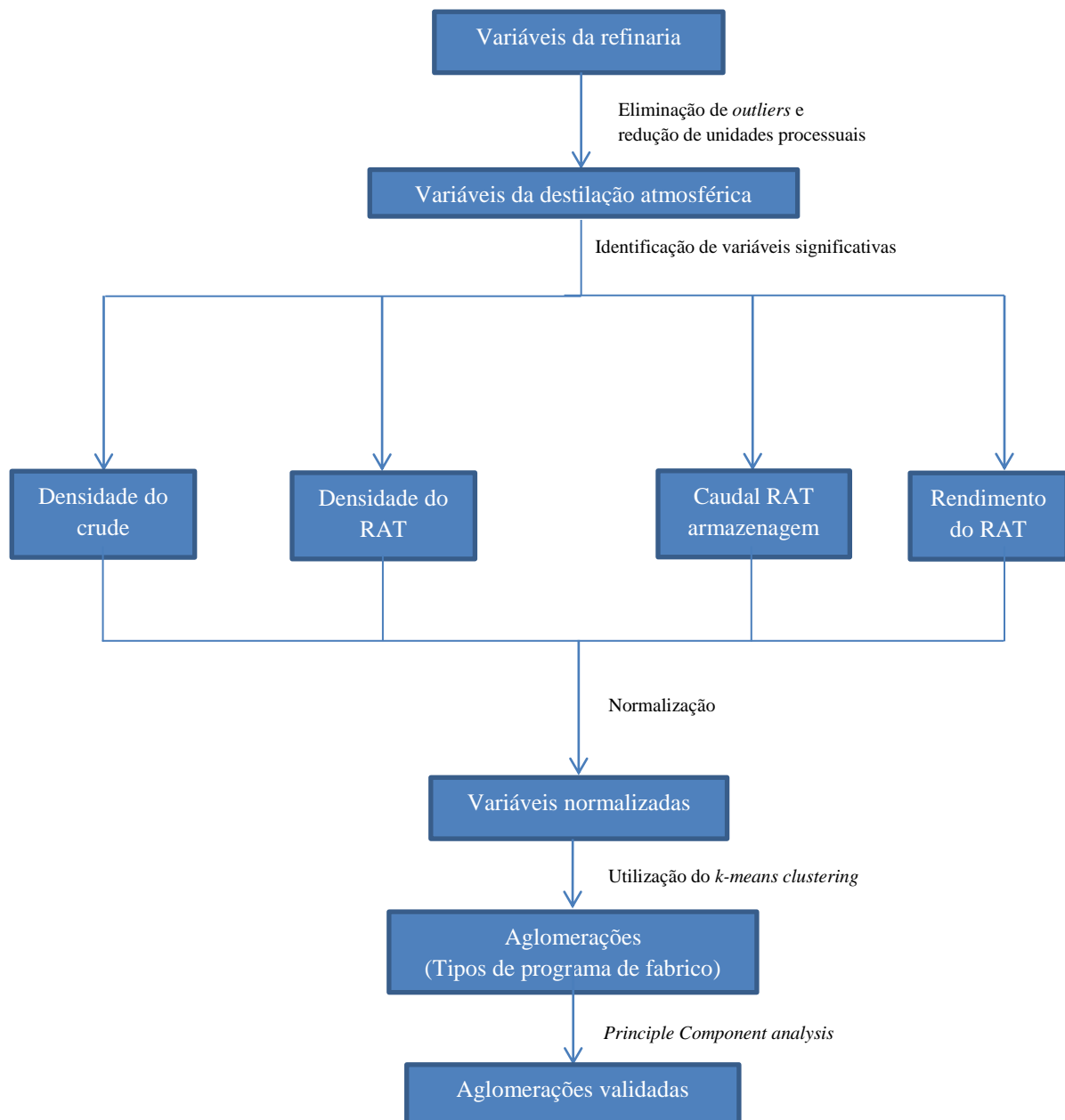


Figura 3.1- Esquema da resolução do problema de obtenção dos tipos de programa de fabrico.

De modo a atingir o primeiro objectivo da dissertação é necessário calcular o consumo líquido das unidades consideradas como casos de estudo. O raciocínio e as formas de cálculo utilizados são idênticos aos referidos no capítulo 2.

A refinaria contém três formas principais de mapear os consumos e produções das utilidades, são estas:

1. Balanços mensais - estes armazenam o consumo e produção das utilidades por mês, em cada unidade processual. Na dissertação esse ficheiro é utilizado de modo a verificar se os valores calculados estão coerentes com a realidade e para obter os consumos/produção de eletricidade, por hora de funcionamento.
2. Balanços de utilidades - estes armazenam o consumo e produção, principalmente de vapor de cada unidade processual. Na dissertação este é utilizado de modo a retirar os consumos e produções de vapor horários.

3. Balanços de produção - estes armazenam o consumo dos combustíveis, por hora de funcionamento e os poderes caloríficos de cada utilidade. Na dissertação, a maioria dos dados referentes a consumos de combustíveis e horas de funcionamento das unidades processuais são retirados através desses ficheiros.

Em geral, os dados referentes aos consumos de utilidades foram retirados através destes ficheiros, tendo sido utilizadas em raras exceções as TAGS.

As entalpias utilizadas no cálculo do consumo líquido, dos diferentes tipos de vapor, foram fornecidas pela área da tecnologia da refinaria de Sines, sendo os seus valores, os seguintes:

Tabela 3.1-Entalpia dos diferentes tipos de vapor.

| Utilidades | Vapor 24 barg | Vapor 10.5 barg | Vapor 3.5 barg |
|--------------------|---------------|-----------------|----------------|
| Entalpia (Kcal/Kg) | 759.11 | 714.24 | 689.53 |

Após a obtenção destas propriedades, foram calculados e comparados os consumos e produções de cada utilidade em cada unidade processual com a média da refinaria. Os dados utilizados abrangem o período que decorre entre dia 1 de Janeiro de 2015 e 1 de Janeiro de 2017, podendo em alguns casos excepcionais, ser estudados de 1 de Janeiro de 2017 a 30 de Junho de 2017. Esquematizou-se, nas tabelas seguintes, a conversão do peso das utilidades para GNE, sendo este a unidade escolhida para normalização.

Tabela 3.2-Conversão de utilidades.

| Utilidades | Gás natural (Kg/h) | Vapor 24 barg (Kg/h) | Vapor 10.5 barg (Kg/h) | Vapor 3.5 barg (Kg/h) | Fuel FF-V9 (Kg/h) | Fuel FF-V31 (Kg/h) | Eletricidade (Kcal/h) |
|----------------------|--------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|
| Conversão (1KgGNE/h) | 1 | 15.57 | 16.55 | 17.14 | 1.01 | 0.97 | 7198.38 |

Tabela 3.3-Conversão de utilidades.

| Utilidades | Coque (Kg/h) | ASO (Kg/h) | Off-gás CV (Kg/h) | Off-gás VV (Kg/h) | Tail gás SB (Kg/h) | Tail gás SS (Kg/h) | Tail gás HI (Kg/h) | Tail gás HR (Kg/h) | Tail gás SC (Kg/h) |
|----------------------|--------------|------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Conversão (1KgGNE/h) | 1.25 | 1.13 | 1.59 | 1.36 | 184.69 | 72.29 | 8.57 | 6.36 | 38.13 |

Associaram-se assim, os consumos líquidos calculados aos tipos de programa correspondentes. Foi então estudado o consumo e produção das utilidades em termos individuais com o objectivo de analisar detalhadamente alterações significativas no consumo líquido da unidade em estudo.

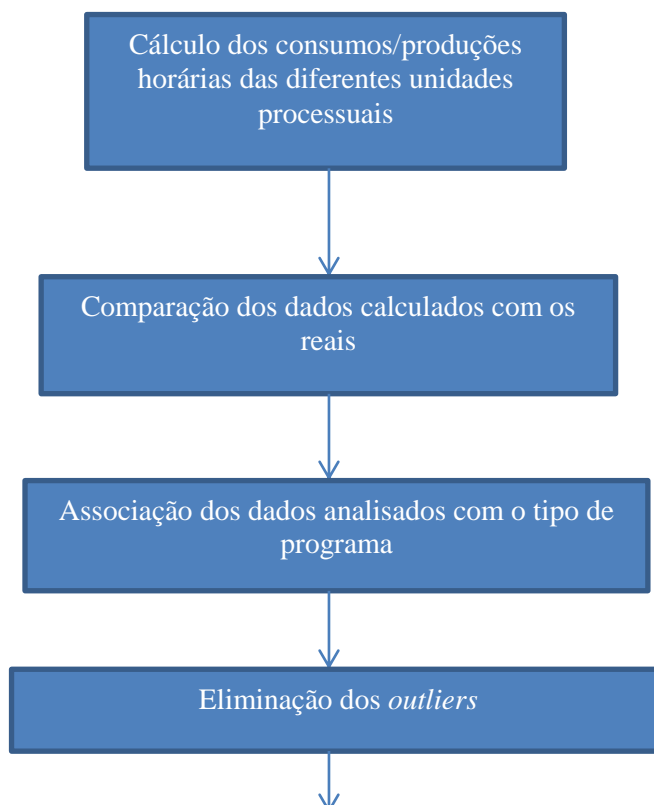
O raciocínio na análise às utilidades individuais, como por exemplo o fuel gás, será idêntico ao utilizado nas utilidades em termos globais, como por exemplo o consumo de combustível. Após a transferência dos dados calculados pelo raciocínio anterior para o programa R, é utilizado o método de boxplot e resíduos, localizados no pacote stats, e a função outlierTest, presente no pacote car, de modo a eliminar os *outliers* residentes dentro dos dados em análise. Após a eliminação destes, é realizada uma análise detalhada do consumo e produção

horária da utilidade em função do tempo, assim como de diversas variáveis, como a carga da unidade, temperatura ambiente e *fouling*.

Se em algum período de tempo ocorrer uma variação fora do normal quanto aos valores do consumo ou produção (sendo que o valor posterior da variação não apresenta variações consideráveis até ao final do período de estudo e a variação não é causada por variações das variáveis estudadas, como por exemplo a carga à unidade), esse período de tempo onde ocorreu a variação será visto, como o novo tempo inicial de obtenção de um novo modelo linear, sendo o objectivo deste estudar o comportamento real da utilidade. Este novo ponto de análise servirá para retirar qualquer influencia causada por eventos extraordinários ou condução das unidades. Após essas modificações, é realizado um modelo linear (através da função linear, localizada no pacote stats), com base no raciocínio utilizado no PL e nos testes estatísticos aos coeficientes da regressão linear (analísados no capítulo 2), capaz de prever o comportamento do consumo/produção de uma utilidade para um determinado programa.

Depois desses modelos serem fabricados, é utilizado o pacote simba, sendo o seu objectivo, através da análise dos coeficientes de dois modelos lineares, concluir se estes são significativamente diferentes entre si. São utilizadas as funções *diffslope* e *diffic*, com o objectivo de compararem o declive das duas rectas e as ordenadas na origem, respectivamente. No capítulo 2, consideraram-se os programas significativamente diferentes se ambas as funções (ou apenas uma) obtiverem um nível de significância inferior a 0.05. No caso destas serem consideradas semelhantes, o modelo utilizado não apresentará qualquer diferenciação em relação ao tipo de programa. São então comparados os modelos obtidos para o consumo líquido, com a evolução do modelo linear do PL, para a unidade em estudo. Esta comparação permitirá verificar se os modelos do PL têm de ser atualizados, se os dados utilizados estão correctos, e identificar ocorrências ao longo dos anos de análise que poderão ter levado a uma variação considerável destes modelos. A qualidade do programa foi utilizada unicamente na análise das seguintes unidades processuais: destilação atmosférica, destilação vácuo I, destilação vácuo II, *hydrobon* de destilados, dessulfuração de gasóleo pesado e *visbreaker*.

O raciocínio desta secção é esquematizado pela seguinte figura:



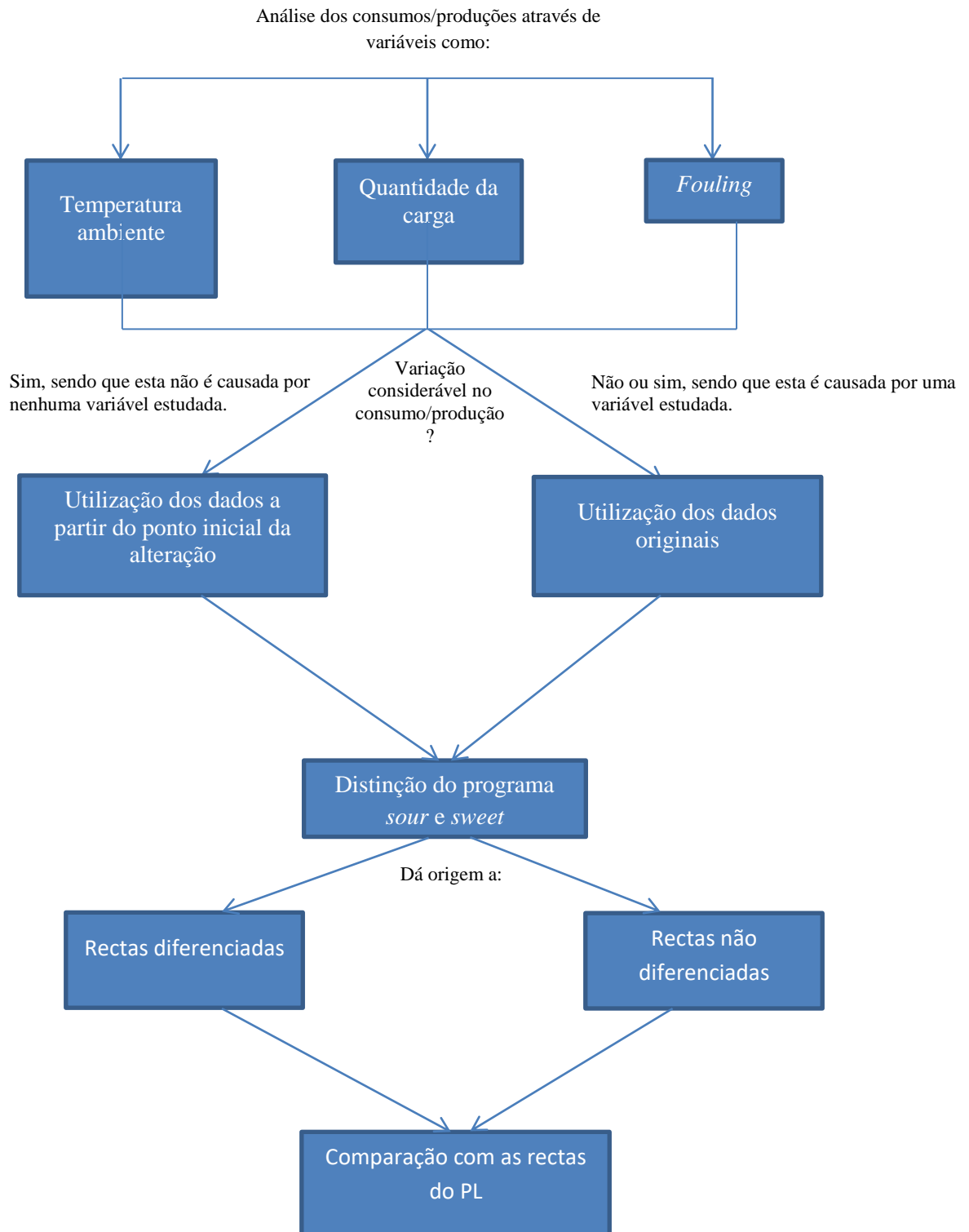


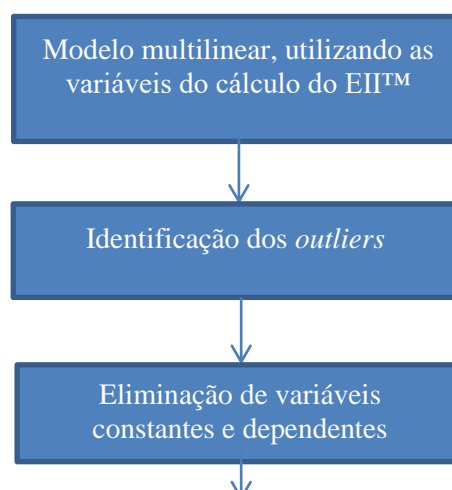
Figura 3.2-Esquema para a concretização do primeiro objectivo da dissertação.

Com vista a atingir o segundo objectivo da dissertação foram estudadas as variáveis usualmente utilizadas na refinaria para o cálculo do EIITM de modo a entender melhor o impacto destas no mesmo. As TAGS utilizadas nesta análise são referidas no capítulo 4. Utilizando o programa *Aspen Process Explorer* foram exportados os valores das variáveis para o excel. Os valores referentes ao EIITM foram fornecidos pela área da tecnologia, estando estes localizados entre 1 de Outubro de 2014 e 17 de Novembro de 2016. Inicialmente os modelos irão trabalhar com dados de 1 de Janeiro de 2015 a 17 de Novembro de 2016.

Foram então utilizadas as funções de robustez linear e outlierTest, localizadas nos pacotes roblm e car, respectivamente, de modo a eliminar todos os *outliers* referentes ao modelo de regressão multilinear. Após a eliminação dos *outliers*, foi continuada a análise das variáveis do modelo, sendo que o programa R identifica, automaticamente, as variáveis linearmente dependentes através da função lm do programa stats. Com o objetivo de identificar a importância das variáveis no modelo, foram utilizados dois métodos semelhantes, porém com quantidades de dados distintos. O primeiro é uma análise estatística, com cerca de 80% dos dados originais, enquanto que o segundo utiliza todos os dados originais. Os valores das variáveis dos dois métodos foram então normalizados, através do mesmo método utilizado para normalizar as quatro variáveis identificativas dos tipos de programas. Após essa ação, com o auxílio das funções plsr e pcr do pacote pls, foram identificadas as variáveis não significativas, através do estudo intensivo dos coeficientes normalizados das variáveis, do impacto que estas fornecem no coeficiente de determinação e o *p-value* das mesmas. De seguida foram eliminadas todas as variáveis com baixo impacto no coeficiente de determinação, baixo coeficiente de normalização e alto *p-value*, até ao coeficiente de determinação do modelo chegar a um valor mínimo de 0.9, ou até às variáveis serem todas significativas, ou de coeficientes normalizados consideráveis.

Após a eliminação das variáveis não significativas, foi realizada uma partição de dados, de modo a evitar que os modelos resultantes ficassem *overfitted*. Repartiu-se então os dados originais em dados de treino e teste, sendo que os dados de treino são novamente repartidos utilizando o método de *cross validation*. O método escolhido para validação foi o método exaustivo de deixar uma observação de fora dos dados de treino. Na validação foram também comparados diversos métodos, sendo alguns destes lineares, polinomiais, complexos e logarítmicos com o intuito de encontrar o melhor modelo explicativo do EII™, sem causar *overfitting*. Utilizando o R, foi realizada uma partição de dados, utilizando o pacote car, mais propriamente a função createDataPartition, sendo também utilizado do mesmo pacote a função train, de modo a treinar e validar os modelos. A partir da função train, é identificado o melhor modelo validado, sendo escolhido o modelo com menor erro normalizado, maior coeficiente de determinação e menor diferença entre estas propriedades, com e sem utilização de *cross validation*. O modelo foi então testado com os dados de teste de modo a verificar como este se adapta aos dados. Se este se adaptar bem, conclui-se que o modelo não é *overfitted* e que entende o comportamento do EII™. Este modelo, depois de ser designado como não *overfitted*, é integrado no gráfico de acompanhamento diário do EII™. Após a integração bem sucedida do modelo, são identificadas as 10 variáveis mais importantes do mesmo, através do método enunciado no capítulo 2. Após esta identificação, são estudadas individualmente as influências das variáveis mais importantes no EII™, através do aumento de 10% no valor destas.

A figura seguinte representa um resumo do raciocínio utilizado na criação de um modelo validado, com coeficiente de determinação superior a 0.9, capaz de compreender o comportamento do EII™:



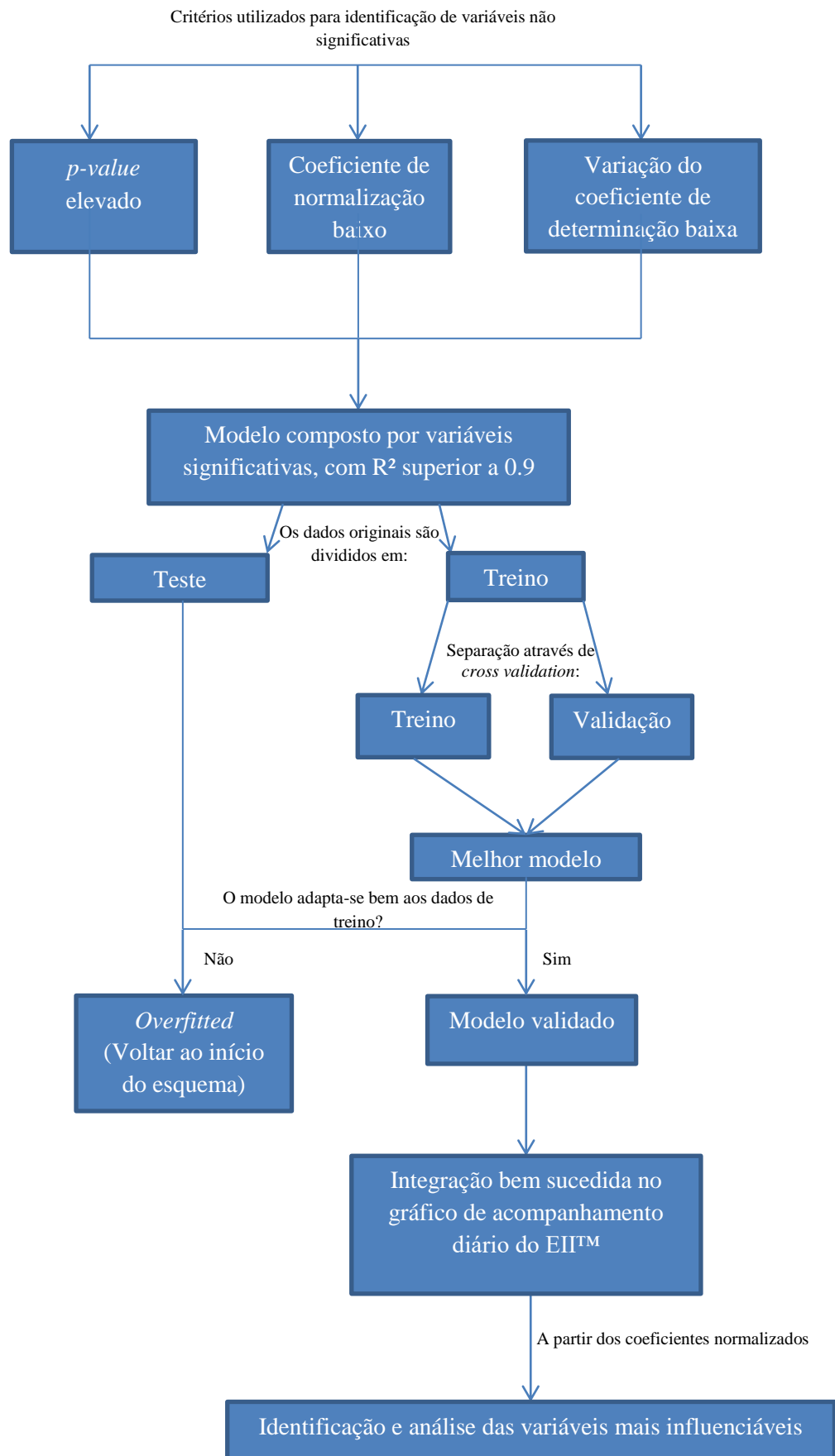


Figura 3.3-Esquema dos passos utilizados, de forma a obter um modelo capaz de entender o comportamento do EII .

Apesar do modelo obtido atingir todos os critérios para ser designado como resposta do segundo objectivo da dissertação, este limita-se a ser um método de ajuda para identificar variáveis macro que possam fazer parte do modelo designado como resposta do segundo objetivo. Após a identificação das variáveis mais influenciáveis do modelo, são descobertas algumas variáveis similares a estas, através do sistema DCS, sendo que estas farão parte do modelo de variáveis macro. Acresce que, neste modelo serão utilizadas as variáveis utilizadas na diferenciação dos programas de fabrico, assim como todas as propriedades referentes a matérias primas, produtos e consumos globais de utilidades da refinaria. Após os valores destas variáveis terem sido retirados, a partir de TAGS e balanços de produção, foi utilizado o raciocínio da figura 3.3, com o objetivo de obter um modelo validado que entenda o comportamento do EIITM e consequentemente identificar as variáveis mais influenciáveis neste. Após a obtenção do modelo com o menor número de variáveis macro possível, validado, e com coeficiente de determinação superior a 0.9, este foi integrado no gráfico de acompanhamento diário do EIITM, sendo após a integração bem sucedida deste, estudadas as variáveis mais influenciáveis do modelo.

Tendo sido concretizado o segundo objectivo, prosseguiu-se para a realização do terceiro. Com o objectivo de obter um modelo estatístico preditivo para o EIITM, em função dos programas de fabrico individuais, foi necessário a aquisição dos programas de fabrico referentes aos anos de 2014, 2015 e 2016, tendo estes sido facultados pela área de tecnologia da refinaria de Sines. Em média, os programas de fabrico têm uma duração de 4 dias. Os modelos constituídos pelas variáveis dos programas de fabrico individuais estão sujeitos a bastante *overfitting*, pois ao longo de um programa de fabrico a resposta do modelo, EIITM é alterada, enquanto os preditores se encontram constantes. Apesar de um programa de fabrico ter em média 4 valores de EIITM diários associados, são apenas analisados dois dias, dado que o primeiro e o último dias dos programas são dias de alteração dos mesmos, ou seja, nesses dias o EIITM é influenciado por dois programas. O raciocínio utilizado para a obtenção deste modelo é semelhante ao da figura 3.3, porém só são eliminadas as variáveis dependentes e constantes, não sendo utilizados os diferentes métodos de identificação de variáveis não significantes de modo a que o modelo obtenha um coeficiente de determinação superior a 0.9. São utilizados os mesmos métodos de prevenção e análise de *overfitting*, sendo que, apesar dos preditores se manterem constantes, e as respostas variarem, não existirá *overfitting* significativo no modelo validado devido à proximidade dos valores de EIITM, quando utilizados os mesmos valores dos preditores. Com base no modelo obtido, consegue-se obter uma maneira simples e inovadora de cálculo do EIITM para os programas de fabrico. Em suma, conclui-se que, através do raciocínio utilizado ao longo deste capítulo é possível realizar todos os objectivos propostos na dissertação.

Capítulo 4- Discussão dos resultados obtidos

Neste capítulo são analisados todos os resultados significantes da dissertação, seguindo os raciocínios demonstrados no capítulo 3.

4.1 Identificação dos tipos de programa de fabrico

Como referido no capítulo 3, foram utilizadas as TAGS do Anexo C de modo a se estudar os valores entre 1 de Janeiro de 2015 e 1 de Janeiro de 2017, quanto à densidade do crude, ao rendimento do RAT, ao caudal de armazenagem do RAT e à densidade do RAT, tendo estas variáveis sido utilizadas com o propósito de identificarem e segregarem os dois tipos de programa de fabrico. Após a eliminação dos *outliers*, representou-se graficamente as variáveis, com o objetivo de estudá-las detalhadamente. Estas encontram-se representadas na figura 4.1.

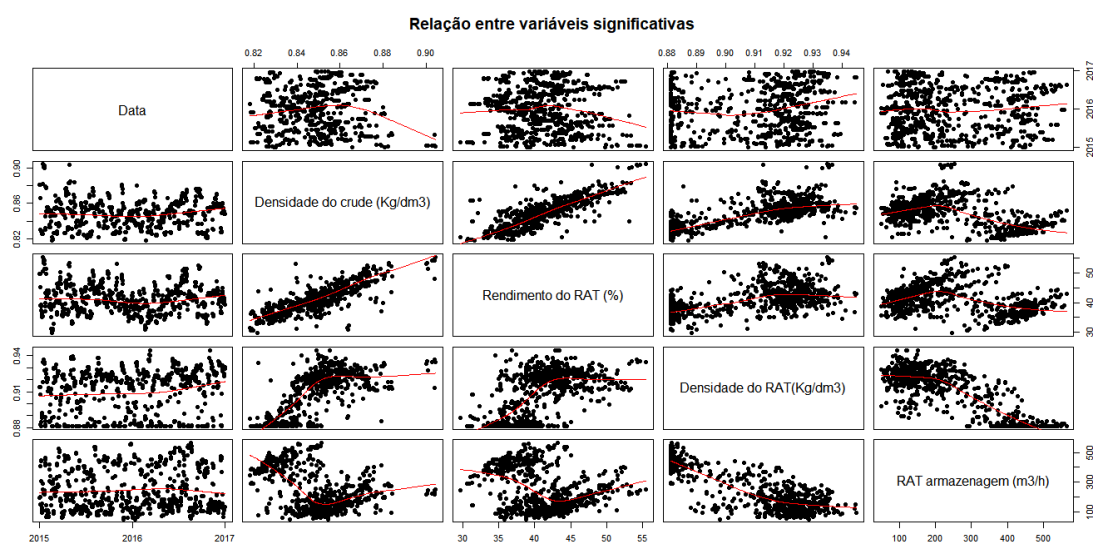


Figura 4.1-Representação das variáveis significativas.

Através da análise da figura 4.1, verifica-se que apesar de algumas variáveis formarem dois grupos de resultados distintos, como é o caso da densidade do RAT com o seu caudal de armazenagem, estes dois grupos formados não contém uma parte bastante significativa dos valores analisados, sendo este facto verificado na figura 4.2.

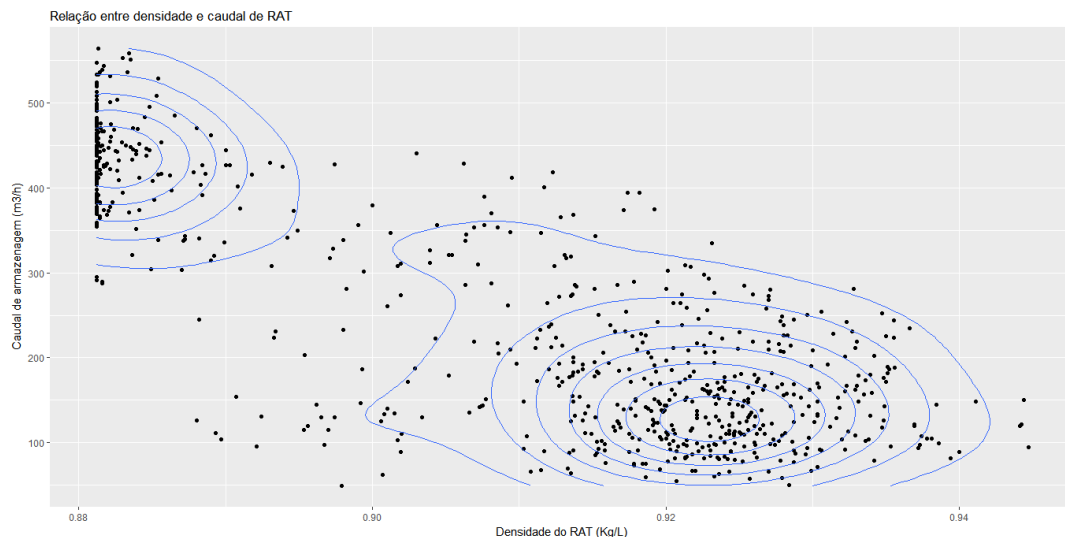


Figura 4.2-Representação da relação entre a densidade e o caudal do RAT.

A figura 4.2 demonstra duas aglomerações com base na densidade populacional dos pontos, tratando-se de uma modificação do método de aglomeração DBSCAN. Como se pode reparar, a afirmação de existir uma quantidade significativa de pontos que não pretence a qualquer grupo formado é de facto correcta, sendo assim essencial utilizar as 4 variáveis, de modo a identificar duas aglomerações significativas que sejam constituídas por mais de 90%, dos dados em análise, e com as propriedades referidas no capítulo 3.

Após a normalização dos dados, foi então utilizado o método de aglomeração *k-means clustering*, tendo sido obtidas duas aglomerações bastante distintas, sendo que apenas 47 de 721 observações não se encontram dentro do corpo das aglomerações, ou seja, menos de 10% do total de observações. A figura 4.3 representa as duas aglomerações obtidas, através do método *k-means clustering*.

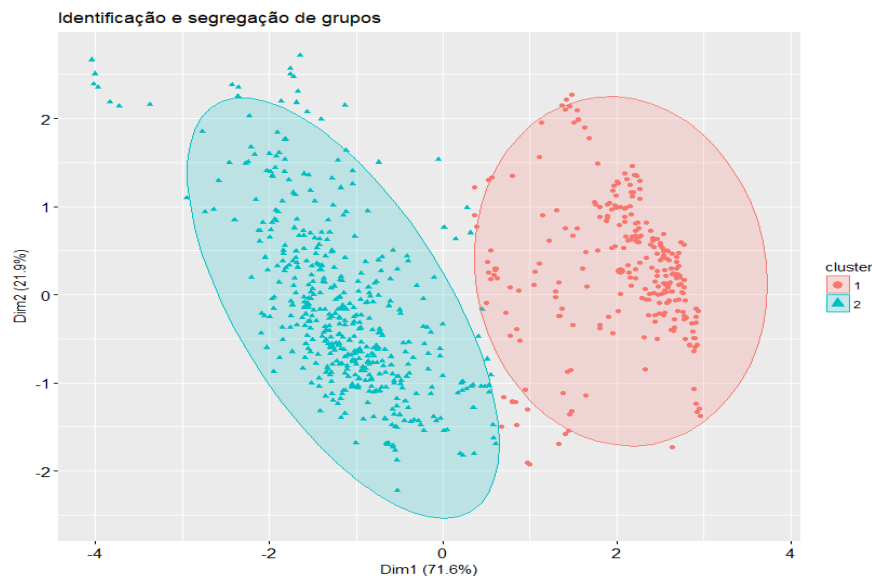


Figura 4.3-Aglomerações obtidas através do método *k-means clustering*.

Através da análise da figura 4.3, verifica-se que os eixos dos gráficos são representados por dimensões, ou seja, componentes principais, o que se deve ao facto de quando o R utiliza o método *k-means clustering*, este combina de forma linear as diferentes variáveis estudadas, de modo a representar os resultados obtidos num gráfico de duas dimensões. Dado que os

componentes principais contêm um peso na variabilidade dos resultados superior a 90%, esta forma de representação e separação de aglomerações não será vista como um problema, mas como uma ajuda, pois deste modo pode-se utilizar o PCA com o objectivo de verificar se na realidade, estes dois grupos formados são, de facto, os programas *sour* e *sweet* ou dois grupos aleatórios. A figura 4.4 representa a aplicação do PCA de modo a verificar a identidade das duas aglomerações formadas.

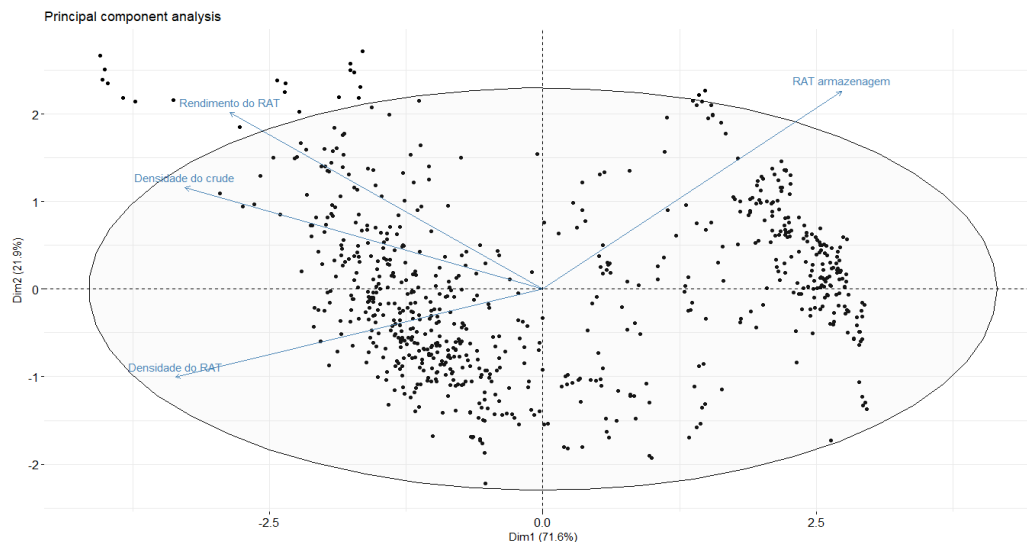


Figura 4.4-Principal Component analysis.

Verifica-se que a elipse, formada com um intervalo de confiança de 95%, contém a maioria dos dados, sendo que os que se encontram fora desta são considerados *outliers* com pouca influência no resultado final, verificando-se deste modo que a eliminação de outliers foi adequada. Passando a uma análise mais pormenorizada, observa-se que o vector formado em x por PCA contém um valor mais elevado quanto ao peso na variabilidade do resultado, do que o vector em y, sendo que o caudal volumétrico de armazenagem de RAT e o resíduo do mesmo, apresentam um maior peso na variabilidade do resultado. De maneira geral, verifica-se que quando o caudal de RAT para armazenagem aumenta, as restantes propriedades diminuem.

Com o objectivo de analisar a constituição dos vectores obtidos por PCA, foi realizada uma desconstrução dos vectores em variáveis, sendo esta representada pela figura 4.5.

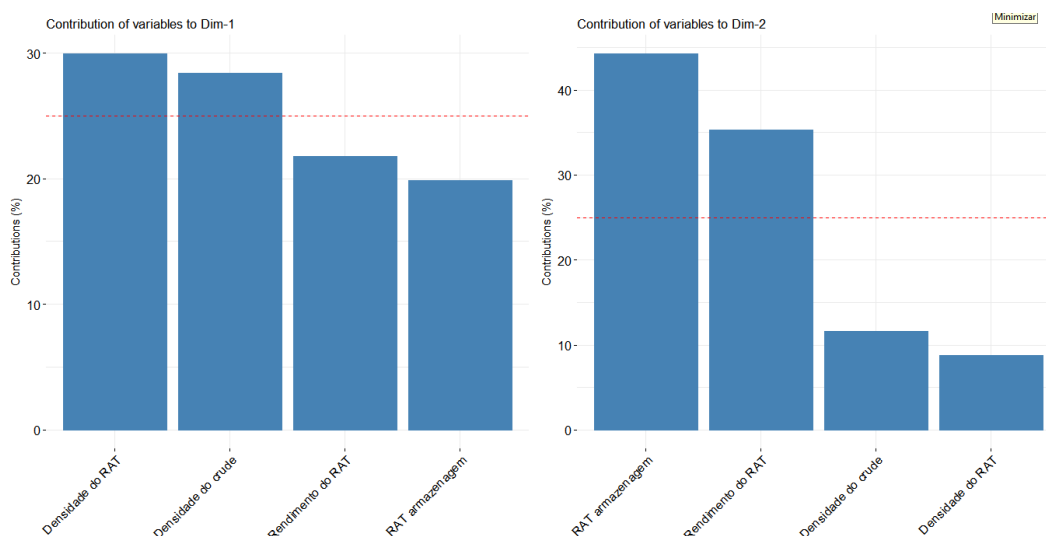


Figura 4.5-Contribuição das variáveis nos componentes principais.

É interessante verificar que, apesar das duas densidades apresentarem maior peso no componente principal, que apresenta maior contribuição para a variabilidade do resultado, essa contribuição, num plano geral, não é suficiente para estas serem consideradas as variáveis que contribuem com maior peso no resultado final. Continuando com a análise anterior, verifica-se que a teoria coincide com os resultados obtidos, pois quanto maior a densidade do crude, maior será a densidade e o rendimento do RAT e menor será o caudal volumétrico de RAT para armazenagem. Sendo assim, pode-se afirmar que a aglomeração designada por 1 será coincidente com o programa *sweet*, sendo a aglomeração 2 coincidente com o *sour*, a estes factos ainda está associado, o facto do grupo 1, conter um menor número de observações que o 2.

Estando cada observação ligada a um tipo de programa, a distinção entre estes é verificada através da figura 4.6.

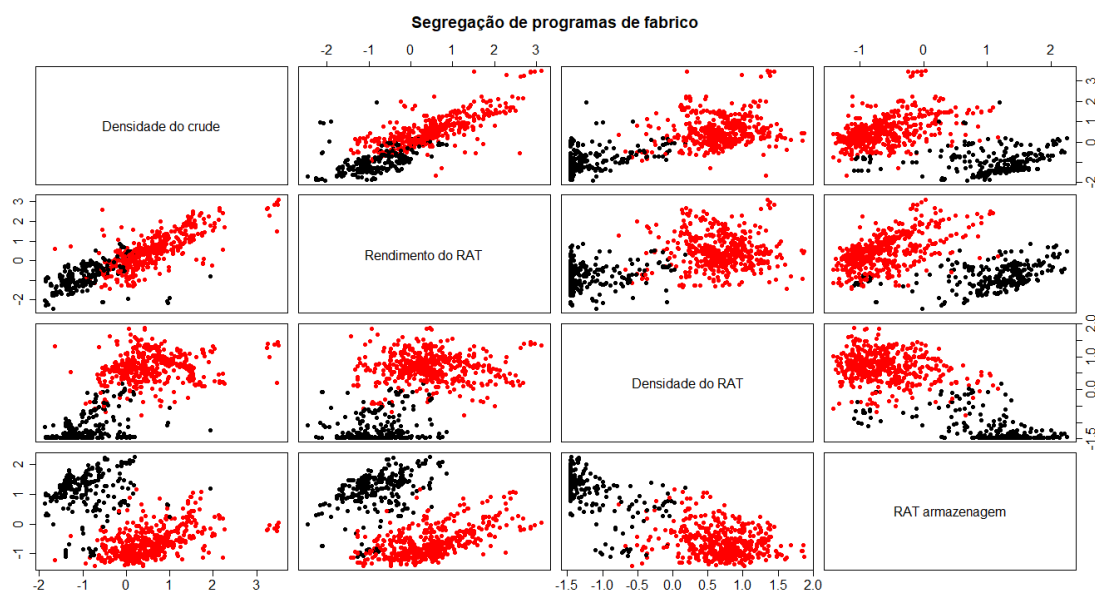


Figura 4.6-Distinção entre programas de fabrico.

Conclui-se que existe uma separação significativa entre os dois programas, sendo o programa *sour* representado pelos pontos a vermelho e o *sweet* representado pelos pontos a preto, pelo que se pode prosseguir para a etapa final da realização do 1.º objectivo da dissertação.

De modo a aumentar os argumentos que indicam que a separação dos tipos de programa foi correcta, foi comparado o caudal de carga da destilação atmosférica para os programas produzidos, sendo que teoricamente o plano *sour* deveria de ser superior ao *sweet*.

Através da TAG, CCDM73, foram obtidos os seguintes valores:

Carga da destilação atmosférica

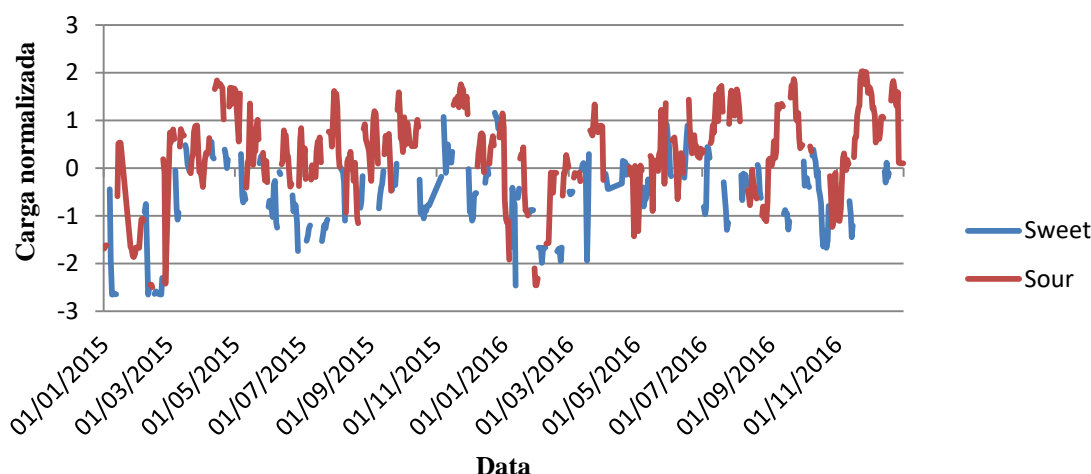


Figura 4.7-Diferenciação da carga da destilação atmosférica, para os diferentes programas de fabrico.

Conclui-se que no programa *sour*, a carga é bastante superior à *sweet*. A razão prende-se com limitações na capacidade de arrefecimento de topo da destilação e processamento de componentes leves. Deste modo prova-se, de uma maneira quase irrefutável, que os programas se encontram correctos. Após esta confirmação, foram calculados os consumos e produções para cada unidade processual estudada, seguindo o raciocínio do capítulo 3.

As utilidades estudadas em cada unidade processual encontram-se representadas no respectivo sub-capítulo de estudo, no capítulo 1.

4.2 Destilação atmosférica

As TAGS utilizadas encontram-se no Anexo C, sendo os restantes valores, retirados através da utilização de balanços de produção, de utilidades e mensais. Esta análise é realizada para valores de 1 de Janeiro de 2015 a 1 de Janeiro de 2017.

É utilizada a tabela 4.1 com o objetivo de verificar, através da comparação de valores, entre os resultados da refinaria (balanços mensais) e os obtidos nesta dissertação, se é aceitável a continuação da análise estatística da unidade processual. Considerou-se aceitável a continuação da análise quando a diferença entre a média dos dois resultados não tenha sido significativa.

Tabela 4.1-Comparação entre valores reais e obtidos.

| Consumo específico das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
|--|--|
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.04 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 24 barg | 0.00 |
| Vapor 10.5 barg | 0.04 |
| Total | 0.00 |

| Produção específica das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
|--|--|
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Vapor 3.5 barg | 0.03 |
| Vapor 10.5 barg | 0.01 |
| Total | 0.04 |
| Consumo específico líquido das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.01 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 24 barg | 0.00 |
| Vapor 10.5 barg | 0.05 |
| Total | 0.04 |

Dado que as diferenças entre os resultados não são significativas, conclui-se que se pode prosseguir com a análise detalhada da unidade processual.

Como referido anteriormente, de modo a compreender o comportamento do consumo/produção de uma dada utilidade na unidade processual é necessário escolher um vasto leque de variáveis que possam ajudar a explicar as variações desta. No caso da destilação atmosférica, foram escolhidas as seguintes variáveis:

- Quantidade de carga;
- Qualidade de carga;
- Tipo de programa;
- Temperatura dos fornos;
- Temperatura ambiente;
- *Fouling*.

Após definidas as variáveis explicativas, são analisados os consumos/produções de um ponto de vista individual no Anexo D.1, sendo apenas analisado o consumo líquido da unidade de forma detalhada no corpo da dissertação.

4.2.1 Consumo líquido

Após estudados os diferentes tipos de consumos/produções de utilidades da unidade, no Anexo D.1, estes são associados através da equação 2.16. Dado que a variável explicativa base, é a quantidade de carga da unidade, o consumo líquido é representado inicialmente em função desta. Representa-se graficamente, após eliminação de *outliers*, o comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade através da figura seguinte.

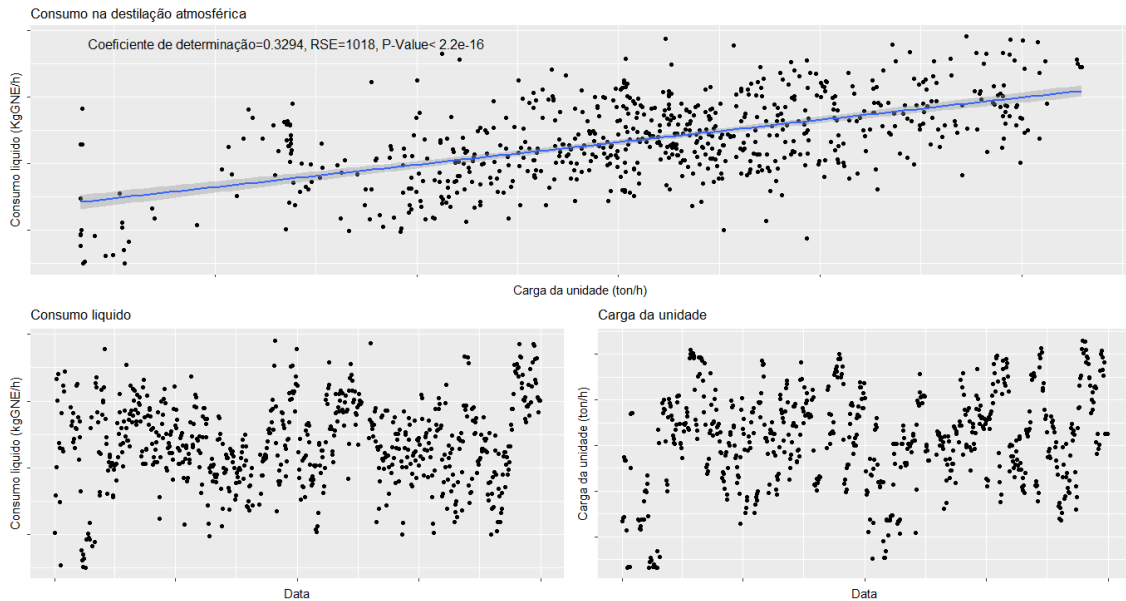


Figura 4.8-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

É essencial salientar, que o sombreado que se observa na figura 4.8, representa o intervalo de confiança a 95% do modelo linear. Verifica-se através da análise da figura 4.8 que apesar da produção de vapor ser influenciada pela temperatura ambiente, não se pode afirmar o mesmo quanto ao consumo líquido da unidade, o que se deve à atenuação desse efeito por parte do consumo de fuel gás. Através do pacote simba, foram obtidos os mesmos resultados que o consumo de fuel gás, ou seja, modelos significativamente semelhantes para diferentes tipos de dados e de programa.

A figura 4.9 compara o modelo produzido na dissertação após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes das regressões lineares com os modelos lineares produzidos pela refinaria.

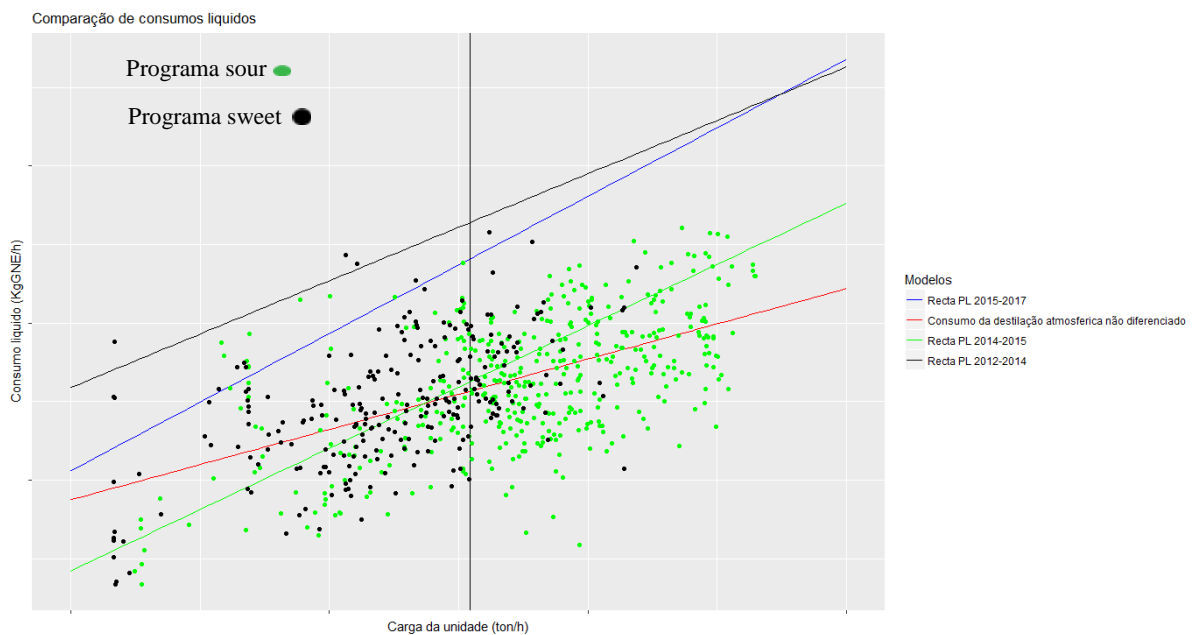


Figura 4.9-Comparação entre o modelo obtido na dissertação e os estabelecidos pela refinaria.

Antes da análise da figura 4.9 é de se salientar que a recta vertical observada na figura representa a carga nominal média da unidade. Através da análise da figura 4.9, conclui-se que o consumo líquido da unidade tende a aumentar com o aumento da quantidade de carga, para qualquer modelo linear. Em 2014 foi limpa a unidade, ocorrendo uma alteração bastante significativa entre o modelo linear após e antes 2014, voltando este consumo a aumentar até ao presente, segundo os modelos da refinaria. Apesar disso, o modelo obtido na dissertação encontra-se bastante próximo do modelo de 2014-2015 da refinaria, apesar de se compreender que estes modelos sofrem um acréscimo em relação ao valor real, assim como a adição, pouco significativa, de consumos de unidades auxiliares, de modo a calcularem o consumo da unidade para o pior caso possível. É necessária uma revisão quanto ao actual modelo utilizado para calcular o consumo líquido da unidade. Conclui-se, também, que o melhor método de estudo e cálculo dos consumos/produções da unidade é um modelo linear com a quantidade de carga como predictor, sendo esta a única variável explicativa significativa.

4.3 Destilação de vácuo I

Apenas foram utilizadas 3 TAGS, sendo:

- CCDM672 representativa da quantidade de carga da unidade;
- CCF720 representativa da produção de vapor 10.5 barg de um gerador de vapor;
- CCF721 representativa da produção de vapor 10.5 barg de um gerador de vapor.

Os restantes valores foram extraídos de balanços de produção, utilidades e mensais. Esta análise é realizada para valores de 1 de Janeiro de 2015 a 1 de Janeiro de 2017, sendo que ocorreu uma paragem da unidade, entre Janeiro de 2016 e Abril de 2016.

A tabela seguinte é utilizada com o mesmo objetivo que a tabela 4.1.

Tabela 4.2-Comparação entre valores reais e obtidos.

| Consumo específico das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
|--|--|
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Vapor 10.5 barg | 0.09 |
| Off gás | 0.00 |
| Vapor 24 barg | 0.01 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.01 |
| Total | 0.07 |
| Produção específica das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Vapor 10.5 barg | 0.11 |
| Vapor 3.5 barg | 0.01 |
| Total | 0.12 |
| Consumo específico líquido das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Vapor 10.5 barg | 0.20 |
| Off gás | 0.00 |
| Vapor 24 barg | 0.01 |

| | |
|------------------|------|
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.00 |
| Total | 0.19 |

Dado que as diferenças entre os resultados não são significativas, conclui-se que se pode prosseguir com a análise detalhada da unidade processual.

No caso da destilação de vácuo I, foram escolhidas as seguintes variáveis explicativas:

- Quantidade de carga da unidade;
- Resíduo produzido;
- Tipo de programa de fabrico;
- Temperatura ambiente;
- Temperatura do forno;
- *Fouling*.

Após definidas as variáveis explicativas, são analisados os consumos/produções de um ponto de vista individual no Anexo D.2, sendo apenas analisado o consumo líquido da unidade de forma detalhada no corpo da dissertação.

4.3.1 Consumo líquido

Concluindo a análise à destilação de vácuo I, é utilizado o mesmo raciocínio que na unidade anterior, pelo que é representado graficamente, através da figura 4.10, o comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

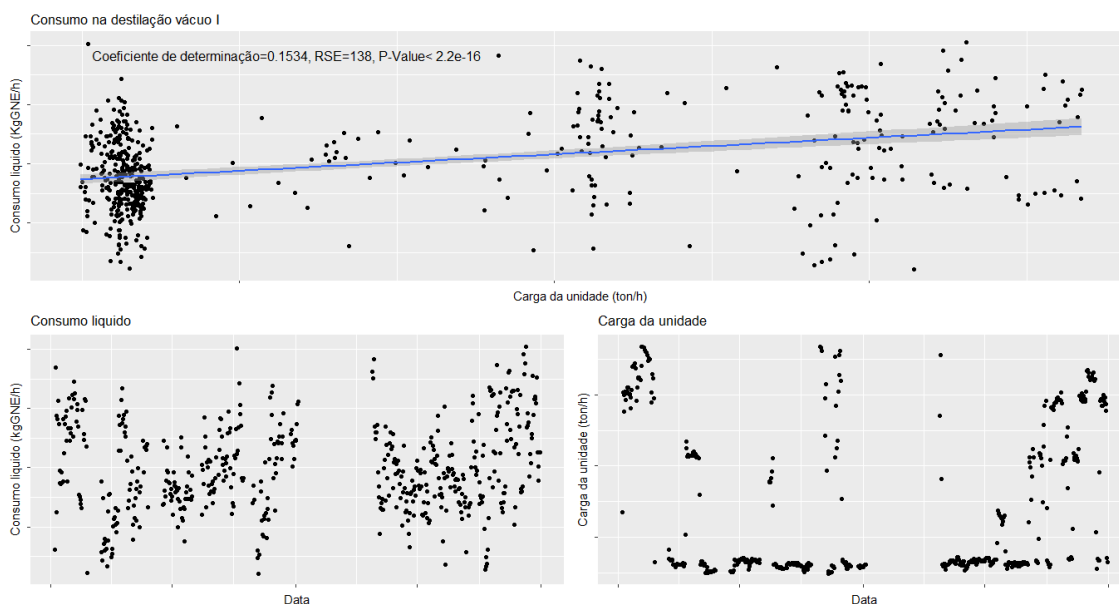


Figura 4.10-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

O consumo líquido da unidade apresenta um comportamento semelhante ao consumo de combustível, pois a produção de vapor 3.5 barg anula a variação do consumo de vapor 24 barg e a produção de vapor 10.5 barg não apresenta suficiente capacidade para atenuar este comportamento. Após analisados os períodos, após e antes a paragem, chegou-se à conclusão que não é possível a formação de modelos significativamente diferentes em função dos dados estudados, sendo que, também não foram obtidos modelos significativamente diferentes, quanto

ao tipo de programa de fabrico. À semelhança do consumo bruto, não ocorre qualquer relação significativa com qualquer variável explicativa, à exceção da quantidade de carga da unidade.

É representada na figura seguinte a comparação entre o modelo obtido na dissertação e os modelos lineares produzidos pela refinaria.

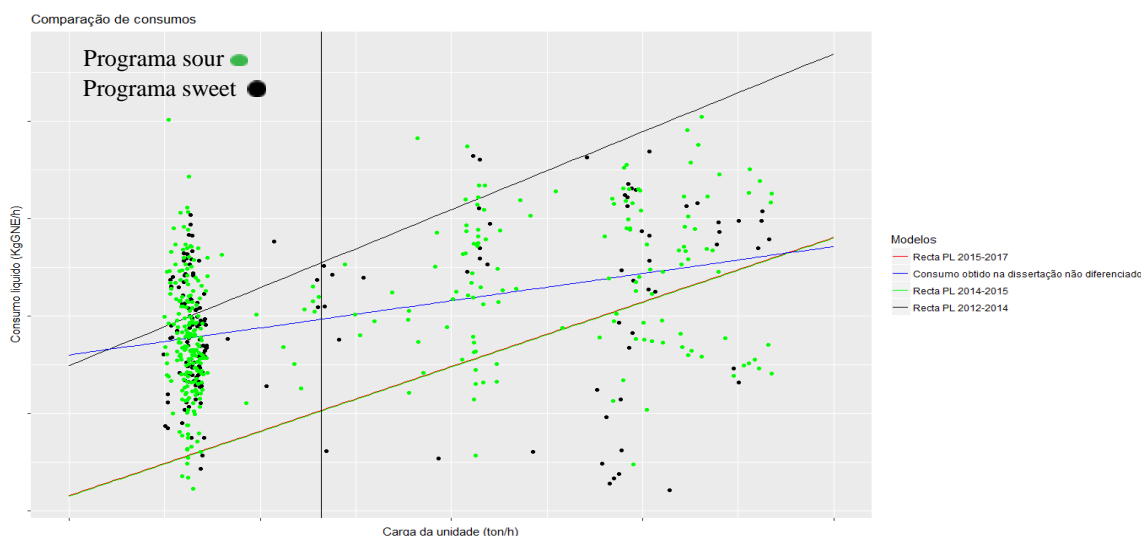


Figura 4.11-Comparação entre o modelo obtido na dissertação e os estabelecidos pela refinaria.

Como referido no consumo bruto, existe uma variação elevada de valores de consumo para cargas semelhantes, o que se deve ao consumo de fuel gás, dado que o consumo de vapor 24 barg, que também causava variação, foi anulado através da subtracção da produção de vapor 3.5 barg. Observa-se uma tendência, de diminuição na evolução dos modelos produzidas pela refinaria, seguida de uma estabilização. A diminuição pode estar ligada à paragem da destilação atmosférica em abril de 2014. Todos os modelos lineares indicam uma relação de aumento do consumo líquido da unidade produzida através de um aumento da quantidade de carga. Dado que o modelo atual da refinaria limita-se a prever os consumos menores da unidade, é sugerida uma atualização deste de modo a que o modelo passe a prever os consumos mais elevados da unidade.

4.4 Destilação de vácuo II

Dado que não foram utilizadas TAGS devido à dificuldade em separar o vapor da destilação de vácuo II do *visbreaker*, os valores das produções e eletricidade da unidade foram retirados através dos balanços mensais, sendo os restantes valores retirados através da utilização de balanços de produção e utilidades. Esta análise é realizada para valores de 1 de Janeiro de 2015 a 1 de Janeiro de 2017, sendo utilizado de forma auxiliar dados de 1 de Janeiro de 2017 a 30 de Junho de 2017.

A tabela seguinte é utilizada com o mesmo objetivo que a tabela 4.1.

Tabela 4.3-Comparação entre valores reais e obtidos.

| Consumo específico das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
|--|--|
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.01 |
| Vapor 24 barg | 0.01 |

| | |
|--|--|
| Off gás | 0.00 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 10.5 barg | 0.00 |
| Total | 0.02 |
| Produção específica das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Vapor 24 barg | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.00 |
| Total | 0.00 |
| Consumo específico líquido das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.01 |
| Vapor 24 barg | 0.01 |
| Off gás | 0.00 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 10.5 barg | 0.00 |
| Total | 0.02 |

Uma vez que as diferenças entre os resultados não são significativas, conclui-se que se pode prosseguir com a análise detalhada da unidade processual.

No caso da destilação de vácuo II, foram escolhidas as seguintes variáveis explicativas:

- Quantidade de resíduo atmosférico, sendo este considerado a carga;
- Percentagem de resíduo da destilação de vácuo I;
- Temperatura ambiente;
- Tipo de programa de fabrico;
- *Fouling*.

Após definidas as variáveis explicativas, são analisados os consumos/produções de um ponto de vista individual no Anexo D.3, sendo apenas analisado o consumo líquido da unidade de forma detalhada no corpo da dissertação.

4.4.1 Consumo líquido

Concluindo a análise à destilação de vácuo II, é utilizado o mesmo raciocínio que nas unidades anteriores, sendo representado graficamente, através da figura 4.12, o comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

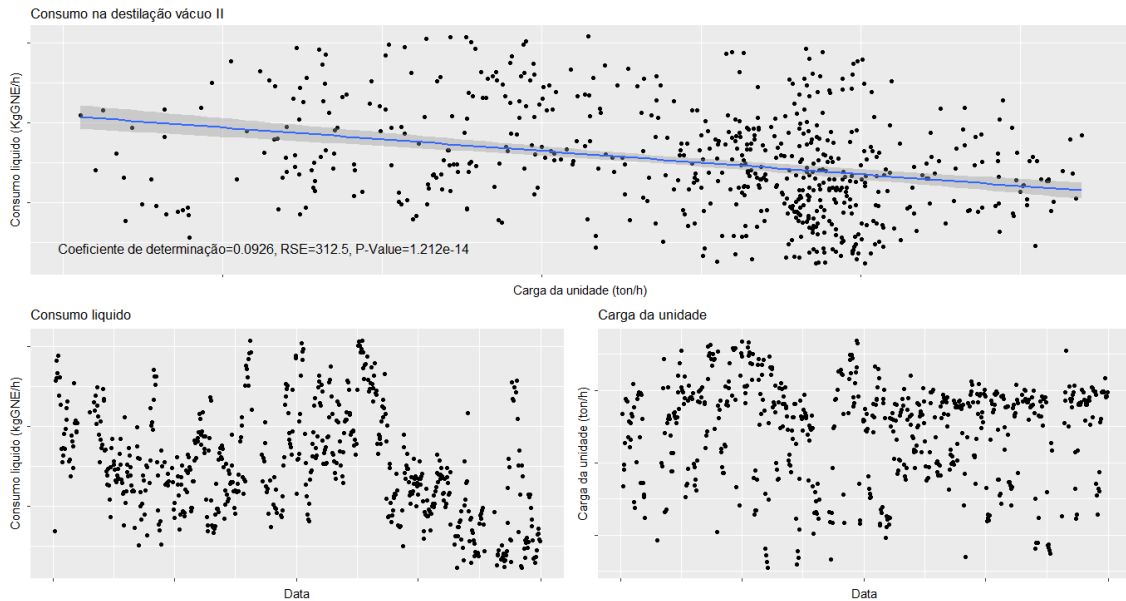


Figura 4.12-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

O efeito da produção de vapor no consumo líquido é atenuado devido a esta ter origem nos balanços mensais. Verifica-se, à semelhança do consumo de fuel gás, uma estabilização do consumo até abril de 2016, sendo que após esse período ocorreu uma diminuição considerável do mesmo. São formados modelos significativamente diferentes utilizando os dados após e antes de abril de 2016, sendo que a partir dos dados após abril de 2016 são formados modelos significativamente diferentes em função do tipo de programa.

É representada na seguinte figura 4.13 a comparação entre os modelos obtidos na dissertação e os modelos lineares produzidos pela refinaria.

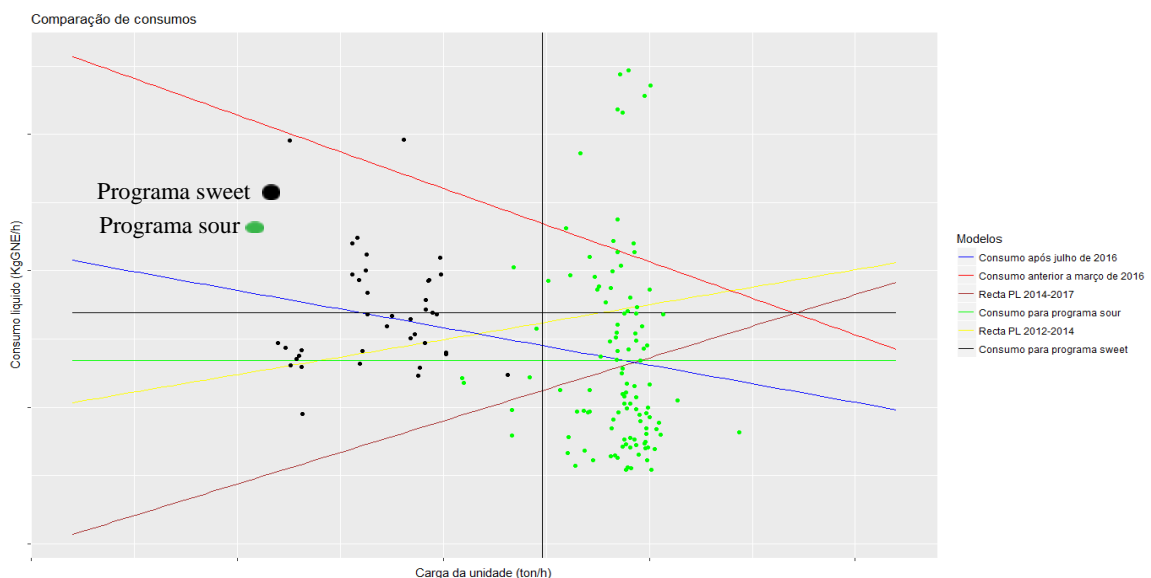


Figura 4.13-Comparação entre os modelos obtidos na dissertação e os estabelecidos pela refinaria.

Analisando a figura 4.13, observa-se que devido à variabilidade do consumo líquido, existem três pares distintos de modelos, sendo estes:

- Os modelos produzidos pela refinaria, que exibem um aumento do consumo líquido da unidade a partir de um aumento da carga da mesma;

- Os modelos diferenciados pelo tipo de programa de fabrico, em que os consumos são independentes da quantidade de carga da unidade;
- Os modelos não diferenciados, que exibem uma diminuição do consumo líquido da unidade a partir de um aumento da carga da mesma.

Dada a maior aglomeração de valores de consumos baixos para quantidades de carga mais elevada, conclui-se que o modelo que mais se aproxima da realidade é um modelo em que o consumo líquido diminui com o aumento da carga. A segregação visível dos pontos por tipo de programa ocorre porque a unidade fica limitada na capacidade de aquecimento, quando processa resíduo frio de armazenagem.

De modo a verificar a veracidade deste argumento, foram analisados de maneira idêntica, os pontos de 1 de Janeiro de 2017 a 30 de Junho de 2017, sendo representada através da figura 4.14, a comparação dos modelos obtidos com os diferentes dados e os estabelecidos pela refinaria.

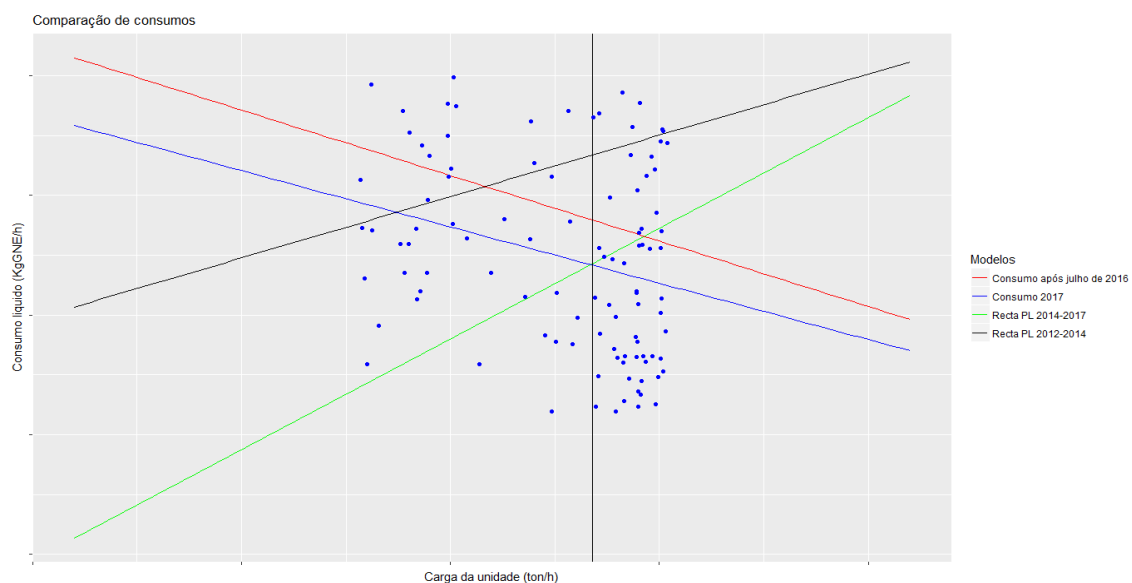


Figura 4.14-Comparação entre modelos obtidos na dissertação e produzidos pela refinaria.

Através da figura 4.14, confirma-se que existe uma maior aglomeração de consumos baixos, quando a carga é mais elevada, concluindo assim que o melhor modelo será de diminuição de consumo líquido quando a carga aumenta, sendo assim necessária uma renovação do modelo da destilação de vácuo II.

Em suma, o consumo líquido de vácuo II, apesar da sua variabilidade, depende exclusivamente de duas variáveis explicativa, sendo estas a quantidade de carga e o tipo de programa utilizado, sendo elevado quando a carga é baixa e o programa é *sour*.

4.5 Visbreaker

Os valores das produções/consumos das utilidades foram obtidos de maneira idêntica à destilação de vácuo II. Esta análise é realizada para valores de 1 de Janeiro de 2015 a 1 de Janeiro de 2017, sendo utilizado de forma auxiliar dados de 1 de Janeiro de 2017 a 30 de Junho de 2017.

A tabela seguinte é utilizada com o mesmo objetivo que a tabela 4.1.

Tabela 4.4-Comparação entre valores reais e obtidos.

| Consumo específico das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
|--|--|
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.01 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 24 barg | 0.01 |
| Total | 0.01 |
| Produção específica das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Vapor 3.5 barg | 0.00 |
| Vapor 24 barg | 0.02 |
| Total | 0.01 |
| Consumo específico líquido das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.01 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 24 barg | 0.01 |
| Total | 0.02 |

Dado que, as diferenças entre os resultados não são significativas, conclui-se que se pode prosseguir com a análise detalhada da unidade processual.

No caso do *visbreaker*, foram escolhidas as seguintes variáveis explicativas:

- Quantidade de carga;
- Percentagem de resíduo visbreaker;
- Temperatura ambiente;
- Tipo de programa de fabrico;
- *Fouling*.

Após definidas as variáveis explicativas, são analisados os consumos/produções de um ponto de vista individual no Anexo D.4, sendo apenas analisado o consumo líquido da unidade de forma detalhada no corpo da dissertação.

4.5.1 Consumo líquido

Concluindo a análise ao *visbreaker*, é utilizado o mesmo raciocínio que nas unidades anteriores, sendo representado graficamente, através da figura 4.15, o comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

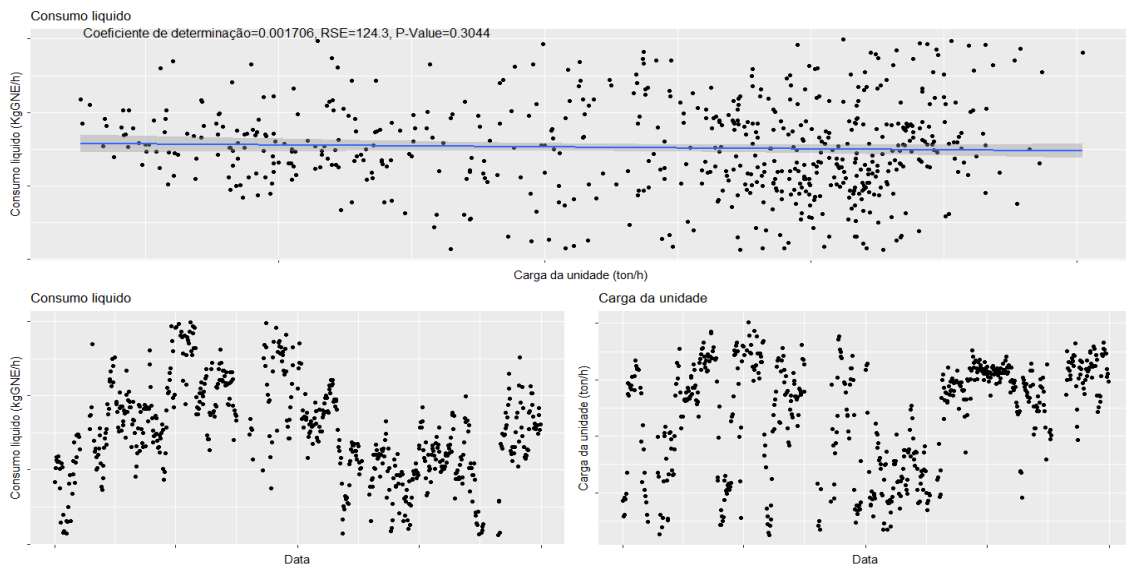


Figura 4.15-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

Apesar da produção de vapor da unidade ter um erro associado, dado que é constante ao longo dos dias do mês, através da análise da figura 4.15 verifica-se que a produção de vapor atenua o comportamento do fuel gás, sendo que o consumo líquido, em oposição ao bruto, não apresenta dependência com a quantidade de carga. Devido ao efeito da produção de vapor verifica-se uma diminuição considerável no consumo líquido em março de 2016, sendo que para o mesmo período o consumo bruto aumenta de forma considerável. Deste modo, são estudados os dados de 2015 e os posteriores a maio de 2016, sendo que se formaram dois modelos significativamente diferentes. A partir dos dados posteriores a maio de 2016 foram formados modelos significativamente diferentes, em função do tipo de programa de fabrico utilizado.

É representada a comparação entre os modelos obtidos na dissertação e os modelos lineares produzidos pela refinaria na figura 4.16.

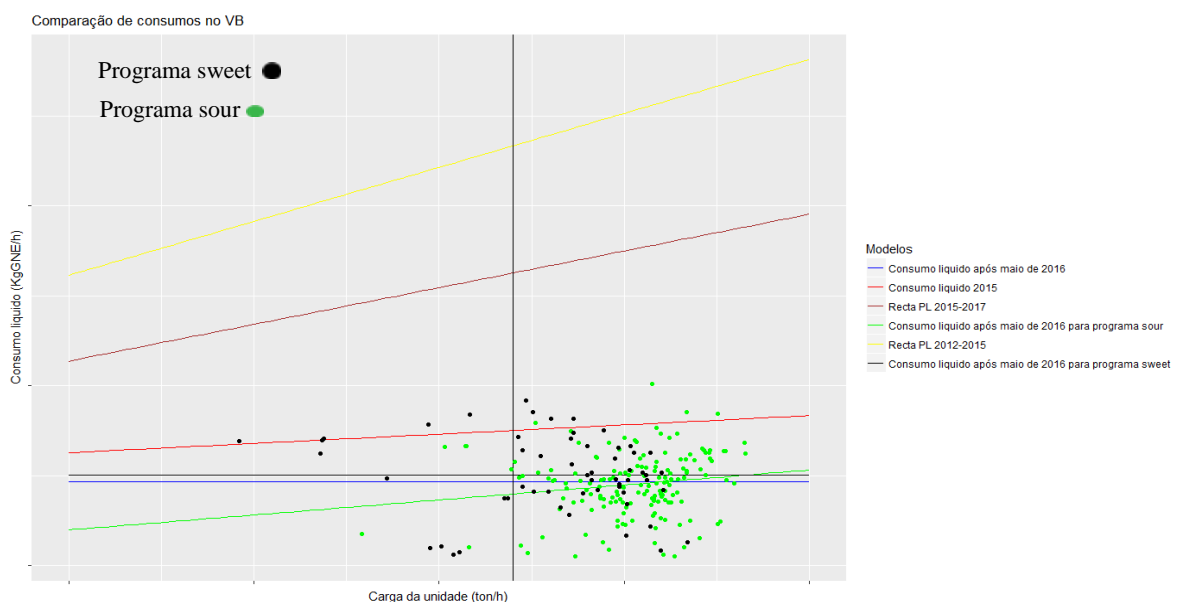


Figura 4.16-Comparação entre os modelos obtidos na dissertação e os estabelecidos pela refinaria.

Apesar dos modelos indicarem que o consumo líquido da unidade aumenta com o aumento da quantidade de carga, estes encontram-se separados de maneira bastante

considerável. Dada a diferença considerável, é de se considerar a revisão do modelo atual da refinaria para esta unidade, sendo que esta depende apenas da quantidade de carga e do tipo de programa utilizado.

À semelhança da destilação de vácuo II, foram estudados os dados de 1 de Janeiro de 2017 a 30 de Junho de 2017 com o objectivo de verificar se o modelo obtido na dissertação representa o comportamento real da unidade.

A figura seguinte representa a comparação dos modelos obtidos na dissertação com os estabelecidos pela refinaria.

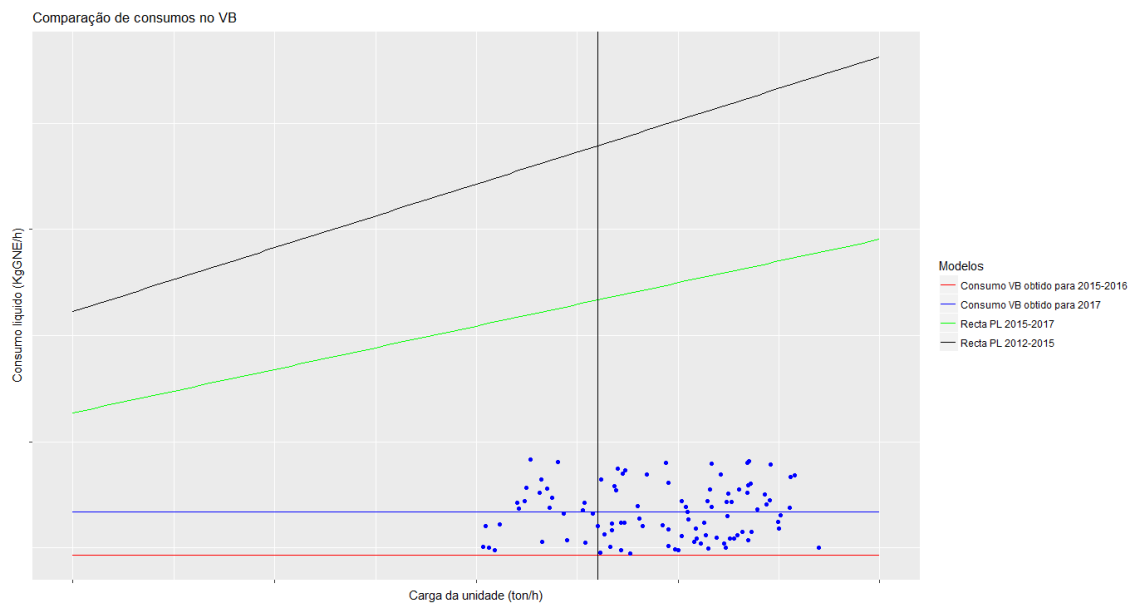


Figura 4.17-Comparação de modelos obtidos na dissertação e estabelecidos pela refinaria.

Conclui-se que o modelo obtido através dos dados do ano de 2015 e 2016 encontra-se próximo da realidade atual da refinaria, sendo assim necessária a revisão do modelo atual da refinaria.

4.6 Destilação de vácuo II integrada com o *visbreaker*

Com o intuito de estudar de modo mais detalhado, a relação entre o *visbreaker* e o vácuo II, analisou-se o consumo líquido desta unidade integrada, em função da carga de vácuo II, utilizando os valores referentes a 2017. A figura seguinte representa esse modelo.

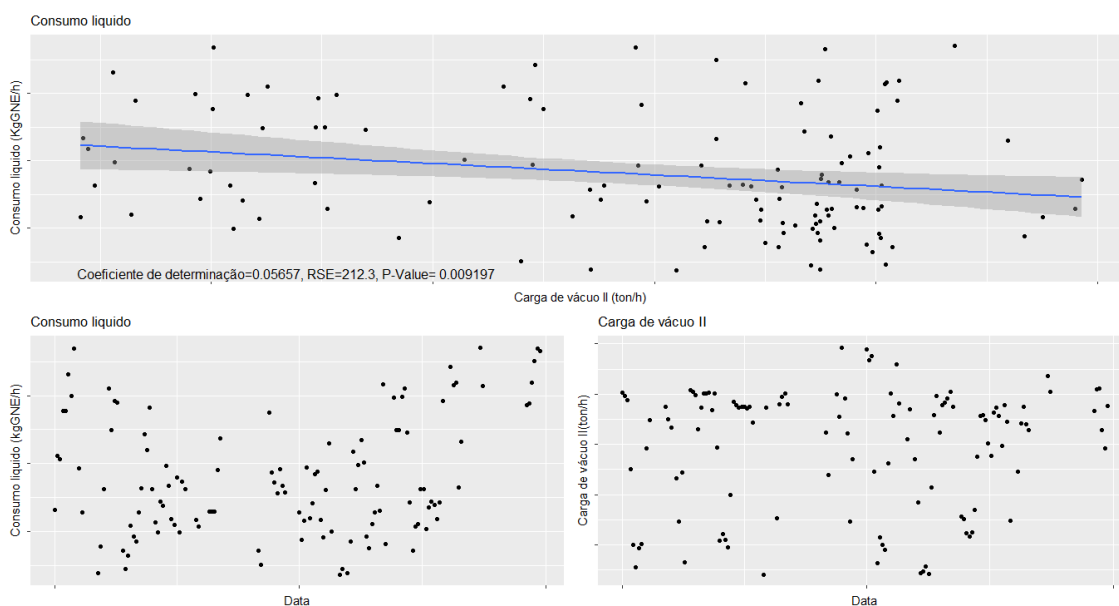


Figura 4.18-Comportamento do consumo líquido das unidades integradas e da quantidade de carga da destilação de vácuo II.

Sendo o modelo obtido, a associação dos modelos da destilação de vácuo II e de *visbreaker*, verifica-se que este tem um comportamento semelhante ao da destilação de vácuo II, dado que o *visbreaker* para cargas não diferenciadas é independente da quantidade da mesma. Através da figura 4.18 verifica-se que apesar da existência de uma elevada variabilidade de valores de consumos líquidos para quantidades de cargas semelhantes, o consumo líquido tende a diminuir com o aumento da carga de vácuo II, contrariando assim os modelos utilizados pela refinaria.

4.7 HD

Os valores dos consumos das utilidades foram obtidos através de balanços, sendo que as TAGS não foram utilizadas devido a erros associados. De maneira idêntica às anteriores unidades, o HD foi analisado utilizando valores de 1 de Janeiro de 2015 a 1 de Janeiro de 2017.

A tabela seguinte é utilizada com o mesmo objetivo que a tabela 4.1.

Tabela 4.5-Comparação entre valores obtidos e reais.

| Consumo específico das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
|--|--|
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Vapor 24 barg | 0.05 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.01 |
| Vapor 10.5 barg | 0.01 |
| Total | 0.04 |

Dado que as diferenças entre os resultados não são significativas, conclui-se que se pode prosseguir com a análise detalhada da unidade processual.

No caso do HD, foram escolhidas as seguintes variáveis explicativas:

- Quantidade de carga;
- Temperatura ambiente;
- Tipo de programa de fabrico;
- *Fouling*.

Após definidas as variáveis explicativas, são analisados os consumos de um ponto de vista individual no Anexo D.5, sendo apenas analisado o consumo líquido/bruto da unidade de forma detalhada no corpo da dissertação.

4.7.1 Consumo líquido/bruto

Concluindo a análise à HD, é analisado o consumo líquido da unidade, sendo este idêntico ao consumo bruto dado que não ocorre produção de utilidades na unidade. Utilizando o mesmo raciocínio que nas unidades anteriores é representado graficamente, através da figura 4.19, o comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

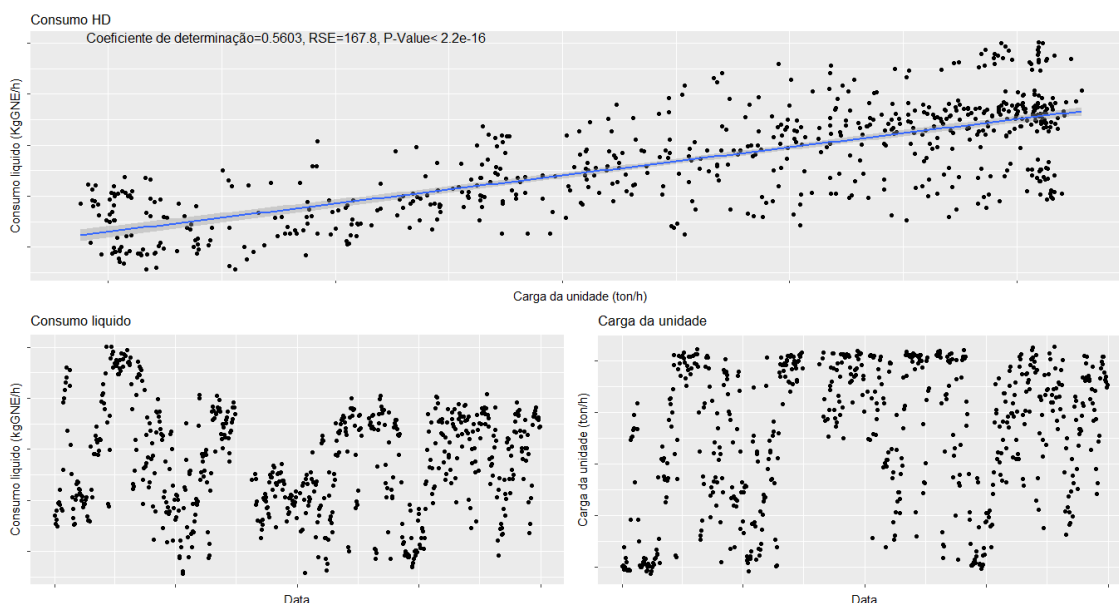


Figura 4.19-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

O consumo líquido da unidade comporta-se de maneira similar, ao consumo de fuel gás, porém verifica-se uma atenuação desse comportamento por parte do consumo de vapor, sendo que após a paragem, a diminuição do consumo de fuel gás está associada a um aumento por parte do consumo de vapor. De modo semelhante ao consumo de fuel gás, foram estudados, em detalhe, dados posteriores e anteriores à paragem, sendo que a partir destes foram obtidos dois modelos significativamente diferentes.

A figura seguinte compara os modelos obtidos na dissertação e os estabelecidos pela refinaria.

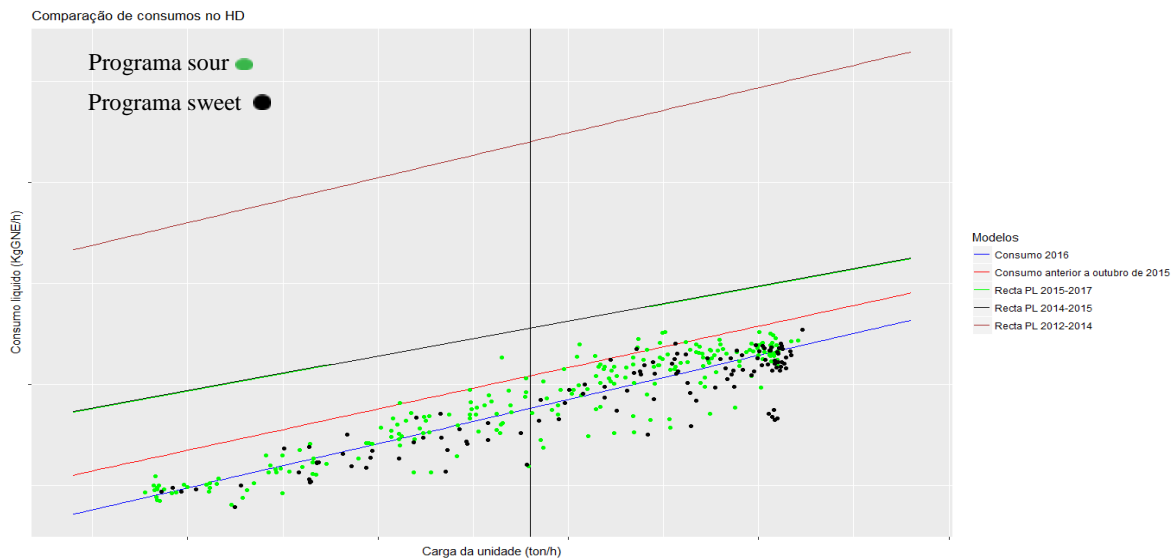


Figura 4.20-Comparação entre modelos obtidos na dissertação e estabelecidos pela refinaria.

Conclui-se, a partir dos modelos lineares, que o consumo líquido aumenta com o aumento da carga da unidade, sendo esta a única variável explicativa significativa. Verifica-se que o modelo linear utilizado pela refinaria contém uma diferença significativa em relação ao modelo obtido na dissertação. Esta diferença deve-se à previsão futura do aumento do fuel gás causado por *fouling*.

4.8 HG

Os valores de consumos/produção de utilidades foram obtidos através de balanços, sendo que as TAGS não foram utilizadas devido a erros associados. De maneira idêntica às anteriores unidades, o HG foi analisado utilizando valores de 1 de Janeiro de 2015 a 1 de Janeiro de 2017.

A tabela seguinte é utilizada com o mesmo objetivo que a tabela 4.1.

Tabela 4.6-Comparação entre valores reais e obtidos.

| Consumo específico das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
|--|--|
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.03 |
| Vapor 10.5 barg | 0.01 |
| Vapor 24 barg | 0.00 |
| Total | 0.04 |
| Produção específica das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Vapor 3.5 barg | 0.00 |
| Consumo específico líquido das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |

| | |
|------------------|------|
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.03 |
| Vapor 10.5 barg | 0.01 |
| Vapor 24 barg | 0.00 |
| Total | 0.04 |

Dado que as diferenças entre os resultados não são significativas, conclui-se que se pode prosseguir com a análise detalhada da unidade processual.

No caso do HG, foram escolhidas as seguintes variáveis explicativas:

- Quantidade de carga;
- Temperatura ambiente;
- Tipo de programa de fabrico;
- *Fouling*.

Após definidas as variáveis explicativas, são analisados os consumos/produção de um ponto de vista individual no Anexo D.6, sendo apenas analisado o consumo líquido da unidade de forma detalhada no corpo da dissertação.

4.8.1 Consumo líquido

Concluindo a análise à HG, é utilizado o mesmo raciocínio que nas unidades anteriores, sendo representado graficamente, através da figura 4.21, o comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

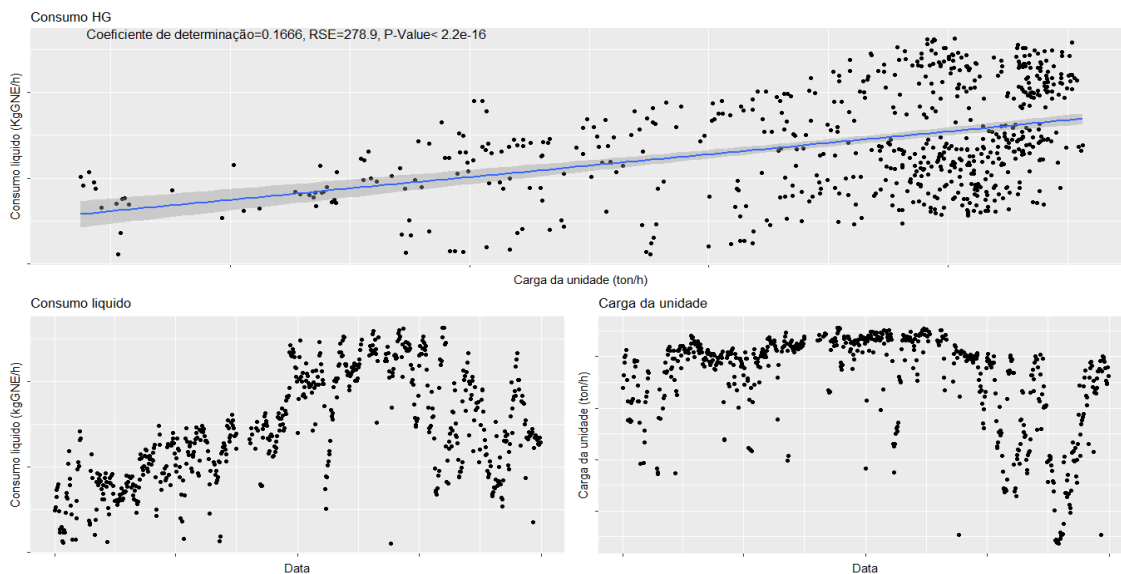


Figura 4.21-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

As conclusões, quanto à análise do consumo líquido, são semelhantes às do consumo bruto, ou seja, verificou-se uma distinção significativa entre os modelos produzidos pelos dados anteriores e posteriores a abril de 2016, porém não se formaram modelos significativamente diferentes, em função do tipo de programa de fabrico.

A figura seguinte representa os modelos obtidos na dissertação e os estabelecidos pela refinaria.

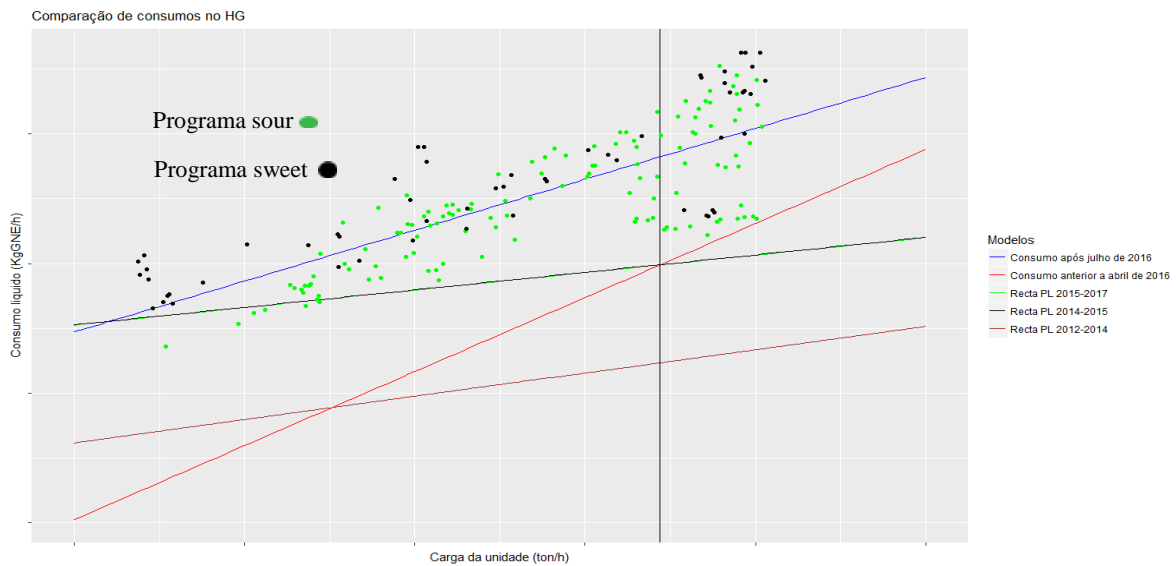


Figura 4.22-Comparação de modelos obtidos na dissertação e estabelecidos pela refinaria.

A partir da análise da figura 4.22 conclui-se que o consumo líquido aumenta com o aumento da quantidade de carga da unidade. Dada a proximidade entre o modelo estabelecido pela refinaria e o modelo obtido na dissertação, sugere-se que o modelo utilizado pela refinaria seja mantido devido ao erro associado na utilização do consumo de vapor 3.5 barg.

4.9 Unidade de *reformer* catalítico

Os valores das produções/consumos das utilidades foram obtidos através de balanços, sendo que as TAGS não foram utilizadas devido a erros associados. De maneira idêntica às anteriores unidades, a unidade de *reformer* catalítico foi analisada utilizando valores de 1 de Janeiro de 2015 a 1 de Janeiro de 2017.

A tabela seguinte é utilizada com o mesmo objectivo que a tabela 4.1.

Tabela 4.7-Comparação entre valores reais e obtidos.

| Consumo específico das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
|---|--|
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Vapor 24 barg | 0.30 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 10.5 barg | 0.00 |
| Total | 0.30 |
| Produção específica das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Vapor 24 barg | 0.06 |
| Vapor 10.5 barg | 0.07 |
| Vapor 3.5 barg | 0.02 |

| | |
|--|--|
| Total | 0.15 |
| Consumo específico líquido das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Vapor 24 barg | 0.23 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 10.5 barg | 0.06 |
| Vapor 3.5 barg | 0.02 |
| Total | 0.14 |

Dado que as diferenças entre os resultados não são significativas, conclui-se que se pode prosseguir com a análise detalhada da unidade processual.

No caso da unidade de *reformer* catalítico, foram escolhidas as seguintes variáveis explicativas:

- Quantidade de carga do Platforming, designada como carga da unidade;
- Temperatura ambiente;
- Temperatura do forno;
- *Fouling*.
- Hidrogénio do Platforming

Após definidas as variáveis explicativas, são analisados os consumos/produções de um ponto de vista individual no Anexo D.7, sendo apenas analisado o consumo líquido da unidade de forma detalhada no corpo da dissertação.

4.9.1 Consumo líquido

Concluindo a análise à unidade de *reformer* catalítico, é utilizado o mesmo raciocínio que nas unidades anteriores, sendo representado graficamente, através da figura 4.23, o comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

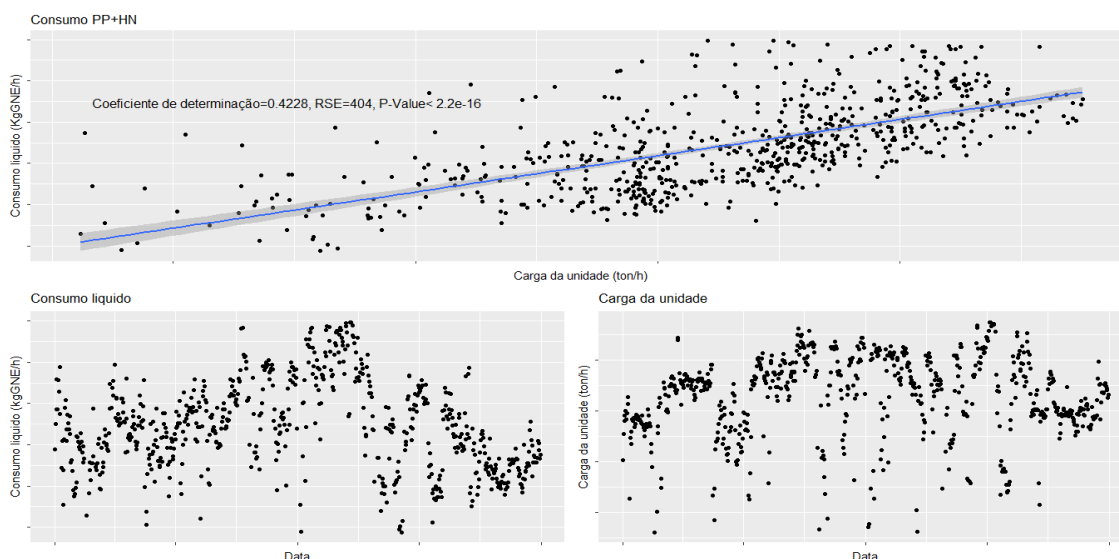


Figura 4.23-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

Dado que o comportamento da produção é independente à quantidade de carga da unidade e o consumo bruto é seis vezes superior à produção, o comportamento do consumo líquido é semelhante ao do consumo bruto. Seguindo o mesmo raciocínio que o consumo bruto, procedeu-se à diferenciação entre os modelos produzidos através dos dados anteriores a maio de 2016 e posteriores a julho de 2016, sendo que os modelos produzidos pelos dados não foram considerados significativamente diferentes.

A figura seguinte representa o modelo obtido na dissertação e os estabelecidos pela refinaria.

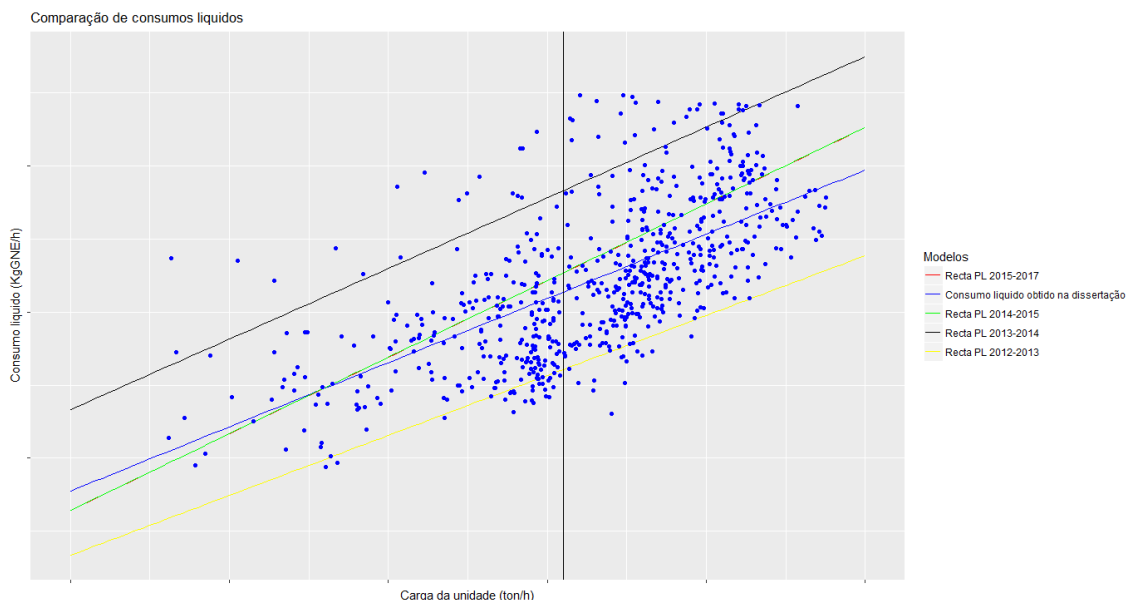


Figura 4.24-Comparação entre o modelo obtido na dissertação e os estabelecidos pela refinaria.

Através da análise da figura 4.24, conclui-se que o consumo líquido aumenta com o aumento da quantidade de carga da unidade para qualquer modelo linear. Apesar da diferença entre o modelo obtido na dissertação e o modelo actual estabelecido pela refinaria não ser significativa, o melhor modelo para ser estabelecido pela refinaria é o modelo estabelecido entre 2013 e 2014, dado que este calcula de forma eficaz os consumos mais elevados da unidade (sendo este o objectivo dos modelos da refinaria).

4.10 HI

Apenas foram utilizadas 2 TAGS, sendo:

- HIF303 representativa do consumo de vapor 24 barg;
- HIF904 representativa do consumo de vapor 3.5 barg.

Os restantes valores de consumos/produções das utilidades foram retirados através da utilização de balanços de produção, utilidades e mensais. Esta análise é realizada para valores de 1 de Julho de 2016 a 1 de Janeiro de 2017 devido a resultados defeituosos de 2015 quanto ao vapor da unidade.

A tabela seguinte é utilizada com o mesmo objetivo que a tabela 4.1.

Tabela 4.8-Comparação entre valores obtidos e reais.

| Consumo específico das utilidades (KgGNE/tonProduçãoDeHidrogénio) | |
|---|--|
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Tail gás | 0.00 |
| Vapor 24 barg | 2.20 |
| Gás natural | 0.00 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.27 |
| Total | 2.47 |
| Produção específica das utilidades (KgGNE/tonProduçãoDeHidrogénio) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Vapor 24 barg | 3.19 |
| Consumo específico líquido das utilidades (KgGNE/tonProduçãoDeHidrogénio) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Tail gás | 0.00 |
| Vapor 24 barg | 5.39 |
| Gás natural | 0.00 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.27 |
| Total | 5.66 |

Apesar de existir uma diferença superior a 5 KgGNE/toncarga, esta não é significativa quando comparada com o consumo líquido específico total da unidade processual. Assim, é razoável proceder-se à análise da unidade.

No caso do HI, foram escolhidas as seguintes variáveis explicativas:

- Produção de hidrogénio;
- Quantidade de carga da unidade;
- Temperatura ambiente.

Após definidas as variáveis explicativas, são analisados os consumos/produções de um ponto de vista individual no Anexo D.8, sendo apenas analisado o consumo líquido da unidade de forma detalhada no corpo da dissertação.

4.10.1 Consumo líquido

Concluindo a análise à HI, é utilizado o mesmo raciocínio que nas unidades anteriores, sendo que invés do preditor base ser a quantidade de carga da unidade, é a produção de hidrogénio da mesma. Representa-se graficamente, através da figura 4.25, o comportamento do consumo líquido e da quantidade produzida de hidrogénio na unidade.

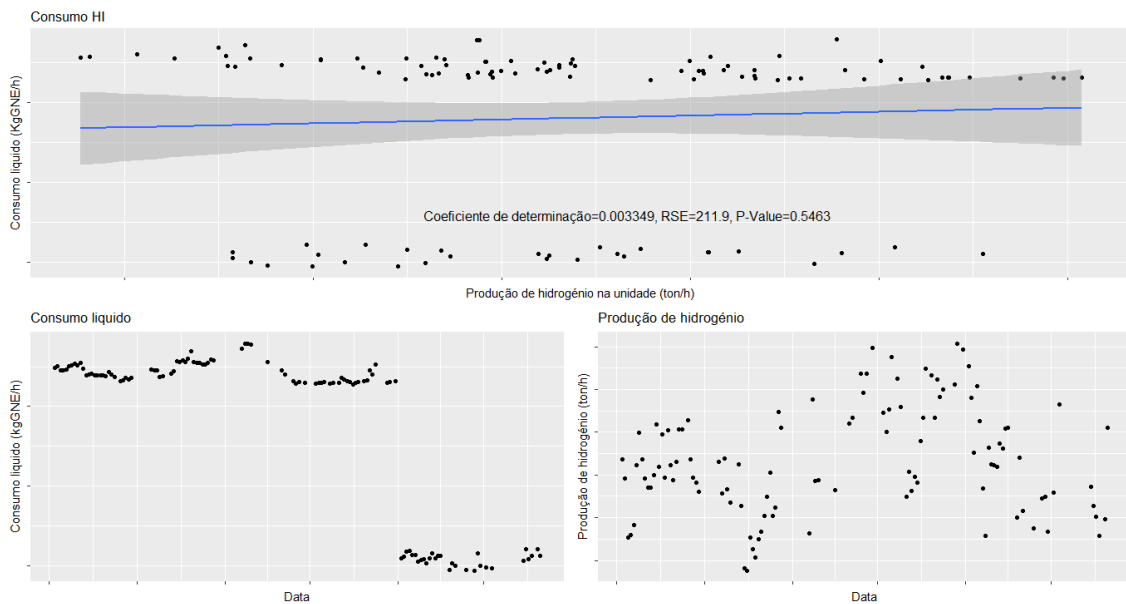


Figura 4.25-Comportamento do consumo líquido e da quantidade produzida de hidrogénio na unidade.

O consumo líquido apresenta um comportamento semelhante ao consumo bruto, o que se deve ao facto da produção de vapor no HI apresentar uma variabilidade mínima em comparação com o consumo bruto. À semelhança do consumo bruto, foram produzidos dois modelos significativamente diferentes a partir dos dados anteriores e posteriores de novembro de 2016.

A figura seguinte representa os modelos obtidos na dissertação e os estabelecidos pela refinaria.

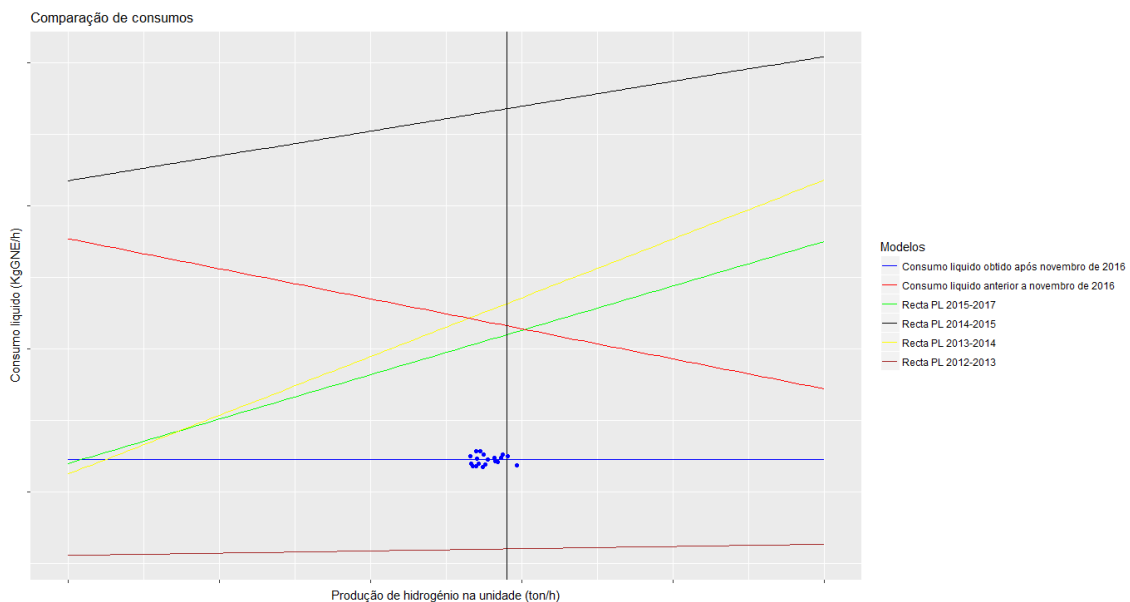


Figura 4.26-Comparação entre modelos obtidos na dissertação e estabelecidos pela refinaria.

Apesar de normalmente os modelos lineares indicarem que o consumo líquido aumenta com o aumento de produção de hidrogénio na unidade, os dois modelos obtidos indicam dois comportamentos distintos. Conclui-se que devido à elevada aglomeração dos valores e às constantes variações, o melhor modelo é o estabelecido actualmente pela refinaria.

4.11 AL

Com a exceção dos combustíveis da unidade, foram utilizados os balanços mensais para se retirarem os valores das utilidades, sendo que estes apresentavam desvios elevados no balanço de utilidades em relação à realidade. Esta análise é realizada para valores de 1 de Janeiro de 2015 a 1 de Janeiro de 2017.

A tabela seguinte é utilizada com o mesmo objetivo que a tabela 4.1.

Tabela 4.9-Comparação entre valores obtidos e reais.

| Consumo específico das utilidades (KgGNE/tonalquilado) | |
|--|--|
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.30 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 24 barg | 0.05 |
| ASO | 0.00 |
| Total | 0.35 |

Dado que as diferenças entre os resultados não são significativas, conclui-se que se pode prosseguir com a análise detalhada da unidade processual.

No caso da AL, foram escolhidas as seguintes variáveis explicativas:

- Quantidade de alquilado para armazenagem;
- Temperatura ambiente;
- *Fouling*.

Após definidas as variáveis explicativas, são analisados os consumos de um ponto de vista individual no Anexo D.9, sendo apenas analisado o consumo líquido/bruto da unidade de forma detalhada no corpo da dissertação.

4.11.1 Consumo líquido/Consumo bruto

Concluindo a análise à AL, é utilizado o mesmo raciocínio que nas unidades anteriores, sendo que invés do preditor base ser a quantidade de carga da unidade, é a quantidade de alquilado para armazenagem. Representa-se graficamente, através da figura 4.27, o comportamento do consumo líquido e da quantidade de alquilado para armazenagem.

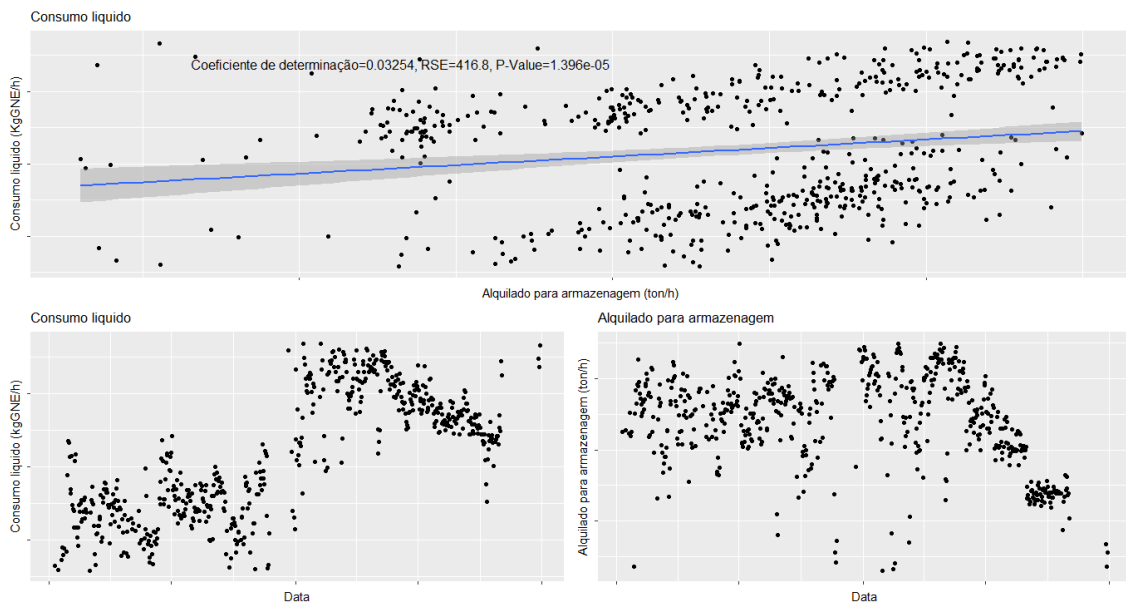


Figura 4.27-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de alquilado para armazenagem.

Dado que os valores do consumo de vapor da unidade foram obtidos a partir dos balanços mensais, o comportamento do consumo líquido da unidade é semelhante ao consumo de fuel gás devido à maior variabilidade deste. À semelhança dos consumos de combustíveis, foram produzidos dois modelos significativamente diferentes utilizando dados de 2015 e 2016.

A figura seguinte representa os modelos obtidos na dissertação e os estabelecidos pela refinaria.

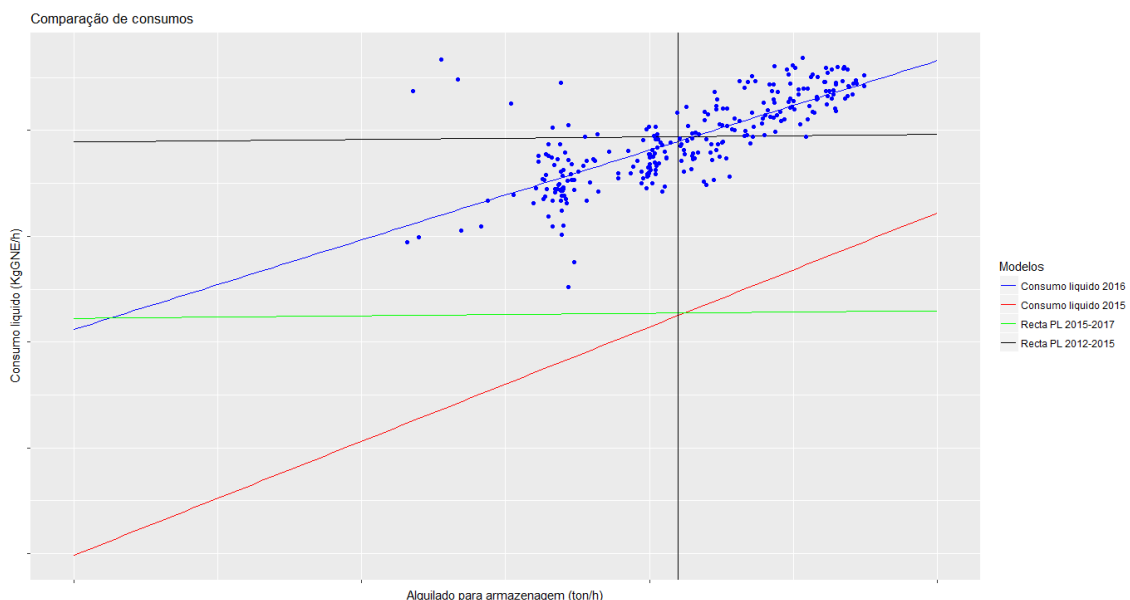


Figura 4.28-Comparação entre modelos obtidos na dissertação e estabelecidos pela refinaria.

Através da figura 4.28, conclui-se que o consumo aumenta com o aumento da quantidade de alquilado para armazenagem. Porém os modelos obtidos na dissertação apresentam um declive bastante mais elevado que os estabelecidos pela refinaria. Verifica-se uma diminuição do consumo da unidade com a evolução dos modelos, apesar desse facto não ser verificado nos modelos produzidos na dissertação, sendo que o melhor modelo que descreve o comportamento actual da unidade é o modelo obtido para os dados de 2016.

4.12 Desisobutanizadora

Os valores dos consumos das utilidades foram obtidos através de balanços de utilidades e mensais. Tal como nas unidades anteriores, a desisobutanizadora foi analisada utilizando valores de 1 de Janeiro de 2015 a 1 de Janeiro de 2017.

A tabela seguinte é utilizada com o mesmo objetivo que a tabela 4.1.

Tabela 4.10-Comparação entre valores obtidos e reais.

| Consumo específico das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
|--|--|
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Vapor 3.5 barg | 0.14 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Total | 0.14 |

Dado que as diferenças entre os resultados não são significativas, conclui-se que se pode prosseguir com a análise detalhada da unidade processual.

No caso da desisobutanizadora, foram escolhidas as seguintes variáveis explicativas:

- Quantidade de carga da unidade;
- Temperatura ambiente.

Após definidas as variáveis explicativas, são analisados os consumos de um ponto de vista individual no Anexo D.10, sendo apenas analisado o consumo líquido/bruto da unidade de forma detalhada no corpo da dissertação.

4.12.1 Consumo líquido/Consumo bruto

Concluindo a análise à desisobutanizadora, é analisado o consumo líquido da unidade, sendo este idêntico ao consumo bruto dado que não ocorre produção de utilidades na unidade. Utilizando o mesmo raciocínio que nas unidades anteriores é representado graficamente, através da figura 4.29, o comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

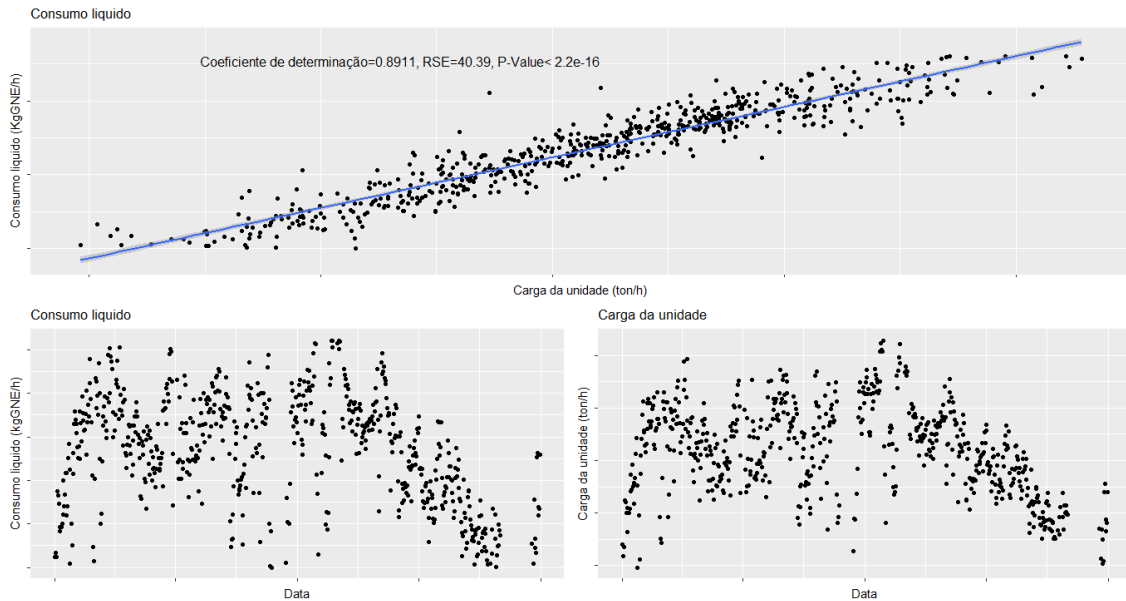


Figura 4.29-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

Sendo o consumo de eletricidade mínimo quando comparado com a quantidade de consumo de vapor 3.5 barg, o consumo da unidade apresenta um comportamento semelhante ao vapor 3.5 barg. Através da figura 4.29, conclui-se que o consumo líquido aumenta com o aumento da quantidade de carga da unidade.

A figura seguinte representa o modelo obtido na dissertação e os estabelecidos pela refinaria.

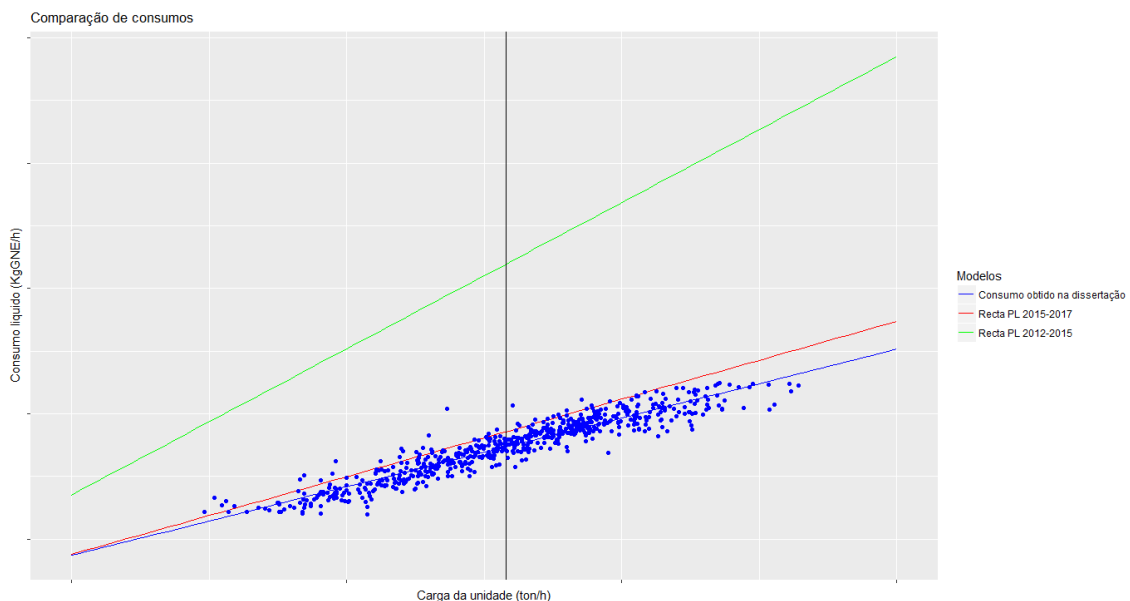


Figura 4.30-Comparação entre o modelo obtido na dissertação e os modelos estabelecidos pela refinaria.

Através da análise da figura 4.30, verifica-se que o consumo da unidade diminui com o decorrer do tempo, sendo que este aumenta com o aumento da quantidade de carga.

Uma vez que ocorre uma diferença mínima entre o modelo produzido na dissertação e o estabelecido actualmente pela refinaria, não existe necessidade de alterar o modelo estabelecido.

4.13 FCC

Os valores dos consumos/produções das utilidades foram obtidos através dos três tipos de balanços. À semelhança das unidades anteriores, o FCC foi analisado utilizando valores de 1 de Janeiro de 2015 a 1 de Janeiro de 2017.

A tabela seguinte é utilizada com o mesmo objetivo que a tabela 4.1.

Tabela 4.11-Comparação entre valores obtidos e reais

| Consumo específico das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
|--|--|
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Coque | 0.00 |
| Vapor 24 barg | 0.26 |
| Vapor 10.5 barg | 0.07 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.00 |
| Fuel gás | 0.00 |
| Total | 0.33 |
| Produção específica das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Vapor 24 barg | 0.09 |
| Vapor 3.5 barg | 0.07 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Total | 0.16 |
| Consumo específico líquido das utilidades (KgGNE/toncarga) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Coque | 0.00 |
| Vapor 24 barg | 0.17 |
| Vapor 10.5 barg | 0.07 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.07 |
| Fuel gás | 0.00 |
| Total | 0.18 |

Dado que as diferenças entre os resultados não são significativas, conclui-se que se pode prosseguir com a análise detalhada da unidade processual.

No caso do FCC, foram escolhidas as seguintes variáveis explicativas:

- Quantidade de carga da unidade;
- Temperatura ambiente.

Após definidas as variáveis explicativas, são analisados os consumos/produções de um ponto de vista individual no Anexo D.11, sendo apenas analisado o consumo líquido da unidade de forma detalhada no corpo da dissertação.

4.13.1 Consumo líquido

Concluindo a análise ao FCC, é utilizado o mesmo raciocínio que nas unidades anteriores, sendo representado graficamente, através da figura 4.31, o comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

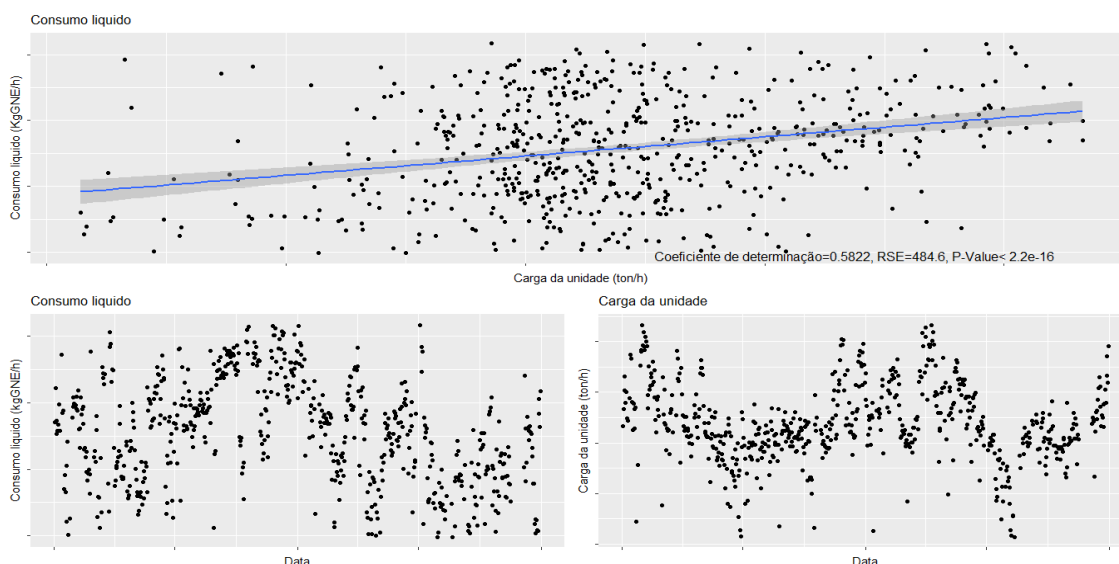


Figura 4.31-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura 4.31, verifica-se que o consumo bruto atenua a variação da produção da unidade, no princípio do ano de 2016, porém observa-se em julho de 2016, uma alteração no comportamento do consumo líquido, em que este passa do estado de diminuir com o aumento da quantidade de carga, para aumentar com a mesma. São formados dois modelos significativamente diferentes, utilizando os dados posteriores e anteriores a julho de 2017.

A figura seguinte representa os modelos obtidos na dissertação e os estabelecidos pela refinaria.

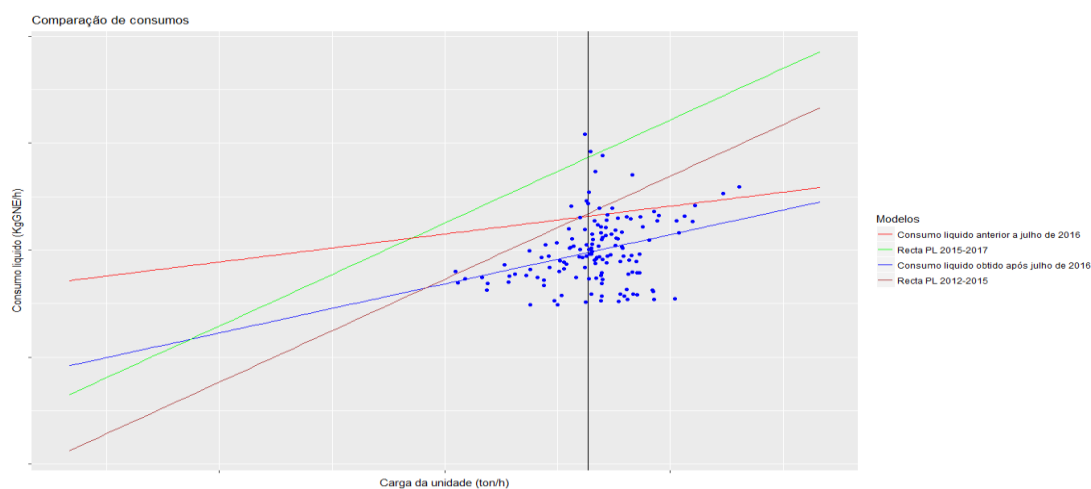


Figura 4.32-Comparação entre modelos obtidos na dissertação e estabelecidos pela refinaria.

Através da análise da figura 4.32, conclui-se que o consumo líquido aumenta quando a quantidade de carga da unidade aumenta. O melhor modelo para a representação da unidade é o modelo actual estabelecido pela refinaria, pois apesar do modelo produzido na dissertação, calcular mais pontos médios de consumo, o modelo da refinaria calcula os consumos quando estes são bastante elevados.

4.14 HT

Não foram utilizadas TAGS, sendo os valores dos consumos e produções retirados a partir de balanços mensais, de produção e utilidades. Esta análise é realizada para valores de 1 de Janeiro de 2017 a 30 de Junho de 2017, sendo utilizado de forma auxiliar, dados de 1 de Janeiro de 2015 a 1 de Janeiro de 2017.

A tabela seguinte é utilizada com o mesmo objetivo que a tabela 4.1.

Tabela 4.12-Comparação entre valores obtidos e reais.

| Consumo específico (KgGNE/toncarga) | |
|---|--|
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Vapor 24 barg | 0.09 |
| Fuel gás | 0.00 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.00 |
| Total | 0.09 |
| Produção específica (KgGNE/toncarga) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Vapor 3.5 barg | 0.00 |
| Consumo líquido específico (KgGNE/toncarga) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Vapor 24 barg | 0.09 |
| Fuel gás | 0.00 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.00 |
| Total | 0.09 |

Dado que as diferenças entre os resultados não são significativas, conclui-se que se pode prosseguir com a análise detalhada da unidade processual.

No caso do HT, foram escolhidas as seguintes variáveis explicativas:

- Quantidade de carga da unidade;
- Temperatura ambiente.
- *Fouling*

Após definidas as variáveis explicativas, são analisados os consumos/produções de um ponto de vista individual no Anexo D.12, sendo apenas analisado o consumo líquido da unidade de forma detalhada no corpo da dissertação.

4.14.1 Consumo líquido

Concluindo a análise à HT, é utilizado o mesmo raciocínio que nas unidades anteriores, sendo representado graficamente, através da figura 4.33, o comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

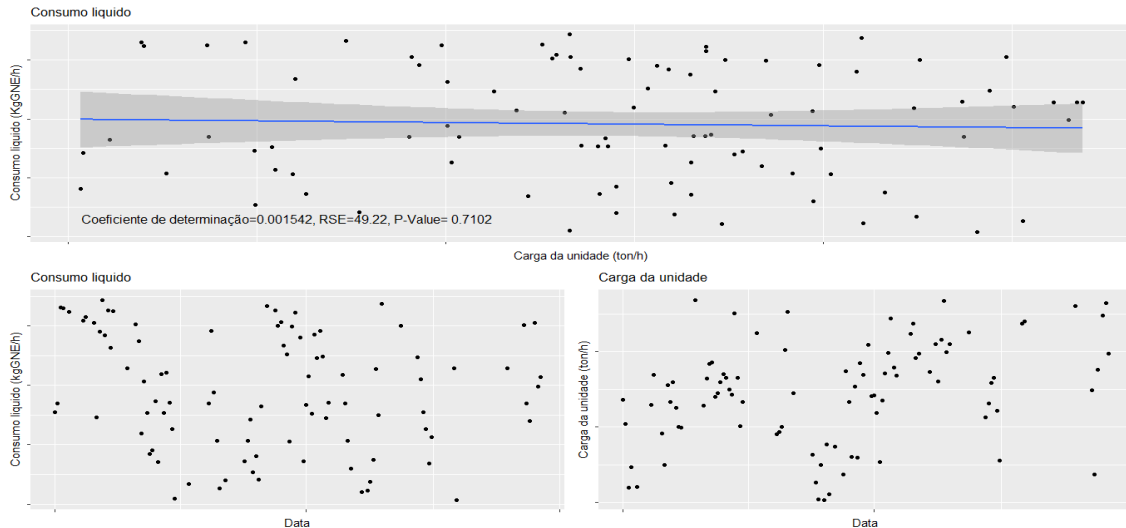


Figura 4.33-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

Devido à diferença entre o consumo bruto e a produção de vapor na unidade, o comportamento do consumo líquido é semelhante ao consumo bruto, sendo que, o consumo líquido é independente em relação à quantidade de carga da unidade.

A figura seguinte representa os modelos obtidos na dissertação e os estabelecidos pela refinaria.

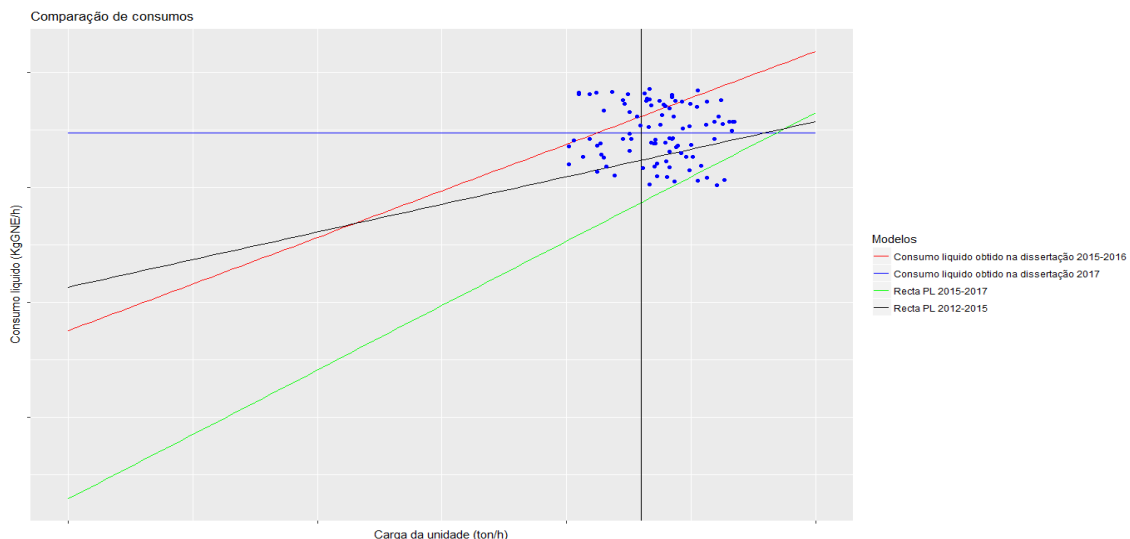


Figura 4.34-Comparação entre modelos obtidos na dissertação e modelos estabelecidos pela refinaria.

Apesar dos modelos lineares apresentarem diferenças mínimas na carga nominal média da unidade, o modelo mais adequado pelos padrões da refinaria é o modelo obtido na dissertação utilizando os dados de 2015 e 2016, dado que este prevê com bastante precisão os consumos mais elevados.

4.15 HR

Foram utilizadas apenas 2 TAGS, sendo:

- HRF8002_DACA representativa da produção de vapor 24 barg;
- HRF2701_DACA representativa do consumo de vapor 3.5 barg.

Os restantes valores foram extraídos de balanços de produção, utilidades e mensais. Esta análise é realizada para valores de 1 de Janeiro de 2017 a 30 de Junho de 2017, sendo utilizado de forma auxiliar dados de 1 de Janeiro de 2015 a 1 de Janeiro de 2017.

A tabela seguinte é utilizada com o mesmo objetivo que a tabela 4.1.

Tabela 4.13-Comparação entre valores reais e obtidos.

| Consumo específico (KgGNE/tonProduçãoDeHidrogénio) | |
|---|--|
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Tail gás | 0.00 |
| Gás natural | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.41 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Total | 0.41 |
| Produção específica (KgGNE/tonProduçãoDeHidrogénio) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Vapor 24 barg | 0.06 |
| Consumo líquido específico (KgGNE/ tonProduçãoDeHidrogénio) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Tail gás | 0.00 |
| Gás natural | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.41 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 24 barg | 0.06 |
| Total | 0.47 |

Dado que as diferenças entre os resultados não são significativas, conclui-se que se pode prosseguir com a análise detalhada da unidade processual.

No caso do HR, foram escolhidas as seguintes variáveis explicativas:

- Quantidade de carga da unidade;
- Temperatura ambiente;
- Quantidade produzida de hidrogénio.

Após definidas as variáveis explicativas, são analisados os consumos/produções de um ponto de vista individual no Anexo D.13, sendo apenas analisado o consumo líquido da unidade de forma detalhada no corpo da dissertação.

4.15.1 Consumo líquido

Concluindo a análise ao HR, é utilizado o mesmo raciocínio que na unidade HI, sendo representado graficamente, através da figura 4.35, o comportamento do consumo líquido e da quantidade produzida de hidrogénio na unidade.

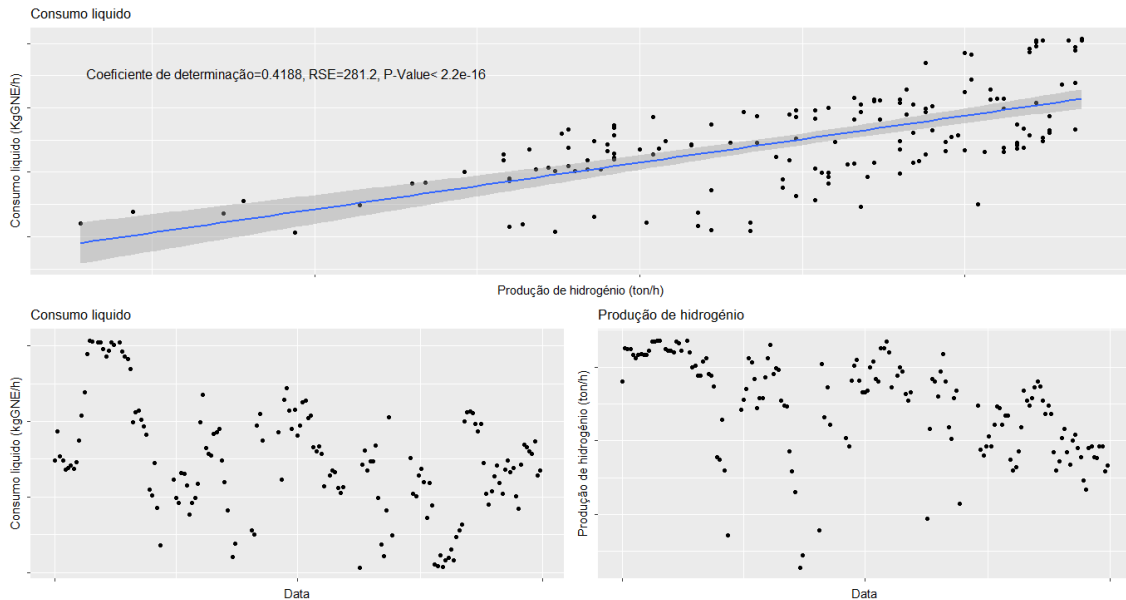


Figura 4.35-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de hidrogénio produzido.

Como quer a produção quer o consumo bruto da unidade têm baixa variabilidade e relacionam-se de forma significativa com a quantidade de hidrogénio produzido (sendo que ambos aumentam com o aumento da quantidade produzida de hidrogénio), o consumo líquido também irá aumentar com o aumento da quantidade produzida de hidrogénio, sendo este facto comprovado pela figura 4.35.

A figura seguinte representa os modelos obtidos na dissertação e os estabelecidos pela refinaria.

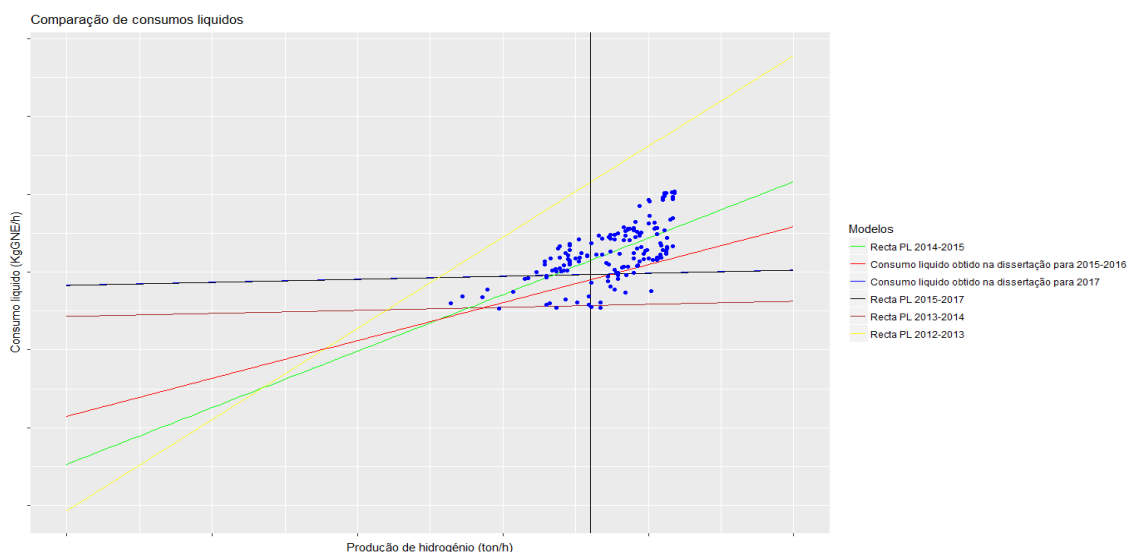


Figura 4.36-Comparação entre modelos obtidos na dissertação e estabelecidos pela refinaria.

Todos os modelos representados através da figura 4.36 evidenciam um aumento no consumo líquido calculado quando a quantidade de hidrogénio produzido aumenta. Como os modelos apresentam valores muito diferentes quanto ao declive, o melhor modelo para analisar o consumo líquido é o produzido através dos dados de 2017, tendo este um comportamento mais adequado à realidade.

4.16 Hydrocracker

Não foram utilizadas TAGS, sendo os valores dos consumos e produções retirados a partir de balanços mensais, de produção e utilidades. Esta análise é realizada para valores de 1 de Janeiro de 2017 a 30 de Junho de 2017, sendo utilizado de forma auxiliar dados de 1 de Janeiro de 2015 a 1 de Janeiro de 2017.

A tabela seguinte é utilizada com o mesmo objetivo que a tabela 4.1.

Tabela 4.14-Comparação entre valores obtidos e reais.

| Consumo específico (KgGNE/toncarga) | |
|---|--|
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Vapor 24 barg | 0.84 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.33 |
| Gás natural | 0.00 |
| Total | 0.51 |
| Produção específica (KgGNE/toncarga) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Produção de vapor 24 barg | 0.03 |
| Produção de vapor 3.5 barg | 0.25 |
| Total | 0.22 |
| Consumo líquido específico (KgGNE/toncarga) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Vapor 24 barg | 0.81 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.08 |
| Gás natural | 0.00 |
| Total | 0.73 |

Dado que as diferenças entre os resultados não são significativas, conclui-se que se pode prosseguir com a análise detalhada da unidade processual.

No caso do HC, foram escolhidas as seguintes variáveis explicativas:

- Quantidade de carga da unidade;
- Temperatura ambiente;
- Temperatura dos fornos;
- *Fouling*.

Após definidas as variáveis explicativas, são analisados os consumos/produções de um ponto de vista individual no Anexo D.14, sendo apenas analisado o consumo líquido da unidade de forma detalhada no corpo da dissertação.

4.16.1 Consumo líquido

Concluindo a análise ao HC, é utilizado o mesmo raciocínio que nas unidades anteriores, sendo representado graficamente, através da figura 4.37, o comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

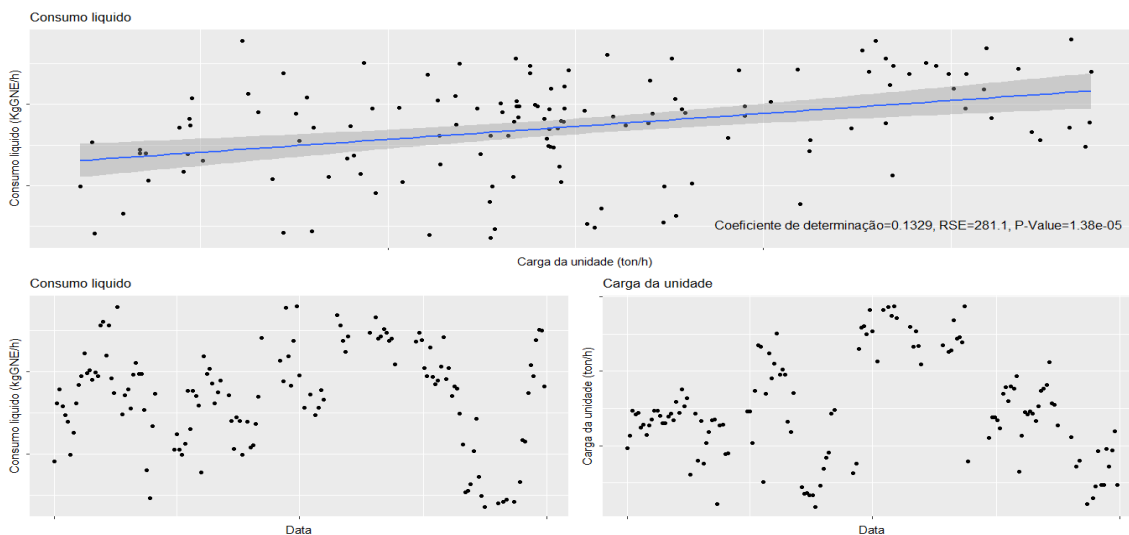


Figura 4.37-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de carga da unidade.

Devido à diferença entre quantidades consumidas e produzidas, o consumo líquido da unidade comporta-se de forma semelhante ao consumo bruto, sendo que este aumenta com o aumento da quantidade de carga. Não são formados modelos significativamente diferentes através da distinção de períodos de tempo.

A figura seguinte representa os modelos obtidos na dissertação e os estabelecidos pela refinaria.

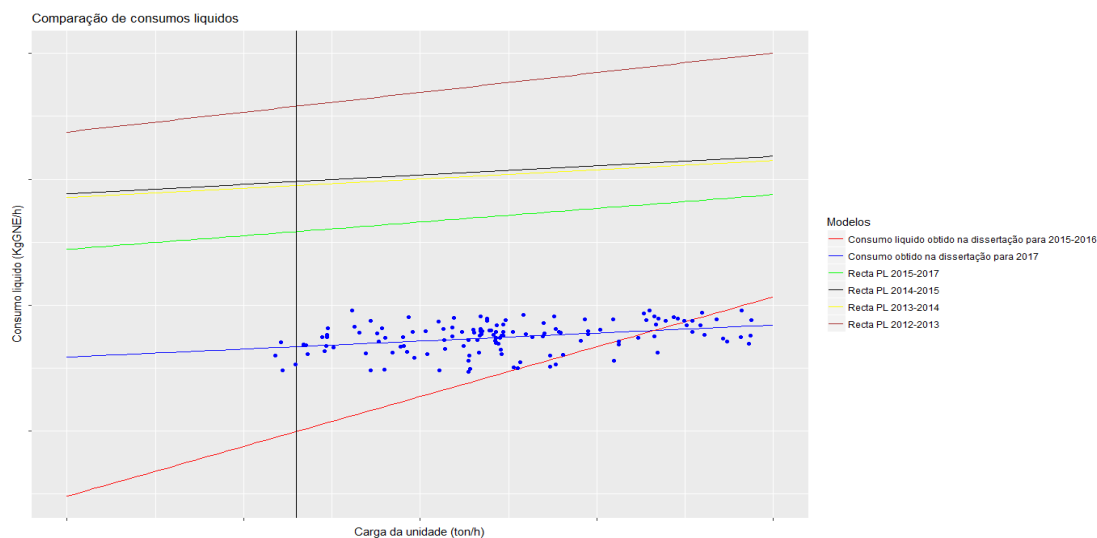


Figura 4.38-Comparação entre modelos obtidos na dissertação e estabelecidos pela refinaria.

Através da análise da figura 4.38, verifica-se uma diferença considerável entre os modelos estabelecidos pela refinaria e os obtidos na dissertação. Esta deve-se a um conjunto de medidas tomadas pela refinaria no início de 2017 com o objectivo de diminuir o consumo de energia da unidade. Apesar da diferença, todos os modelos representados indicam que o consumo líquido da unidade aumenta com o aumento da quantidade de carga na unidade. Em suma, o consumo líquido da unidade depende de forma significativa do *fouling* e da quantidade de carga da unidade, sendo que quando estes aumentam, o consumo líquido aumenta.

4.17 SS

Não foram utilizadas TAGS, sendo os valores dos consumos e produções retirados a partir de balanços mensais, de produção e utilidades. Esta análise é realizada para valores de 1 de Janeiro de 2015 a 1 de Janeiro de 2017.

A tabela seguinte é utilizada com o mesmo objetivo que a tabela 4.1.

Tabela 4.15-Comparação entre valores reais e calculados.

| Consumo específico das utilidades (KgGNE/tonEnxofreProduzido) | |
|---|--|
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.05 |
| Tail gás | 0.00 |
| Total | 0.05 |
| Produção específica das utilidades (KgGNE/tonEnxofreProduzido) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Vapor 3.5 barg | 8.28 |
| Vapor 10.5 barg | 3.17 |
| Vapor 24 barg | 1.66 |
| Total | 3.45 |
| Consumo específico líquido das utilidades (KgGNE/tonEnxofreProduzido) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Energia | 0.00 |

| | |
|-----------------|------|
| elétrica | |
| Vapor 3.5 barg | 8.33 |
| Tail gás | 0.00 |
| Vapor 10.5 barg | 3.17 |
| Vapor 24 barg | 1.66 |
| Total | 3.51 |

Apesar de existirem diferenças quanto aos tipos de vapor, estas são esperadas dado o baixo valor e variação do caudal de enxofre produzido. Sendo assim, esta diferença considera-se irrelevante.

No caso do SS, foram escolhidas as seguintes variáveis explicativas:

- Quantidade de enxofre produzido;
- Temperatura ambiente;
- *Fouling*.

Após definidas as variáveis explicativas, são analisados os consumos/produções de um ponto de vista individual no Anexo D.15, sendo apenas analisado o consumo líquido da unidade de forma detalhada no corpo da dissertação.

4.17.1 Consumo líquido

Concluindo a análise à SS, é utilizado o mesmo raciocínio que nas unidades anteriores, sendo representado graficamente, através da figura 4.39, o comportamento do consumo líquido e da quantidade de enxofre produzido.

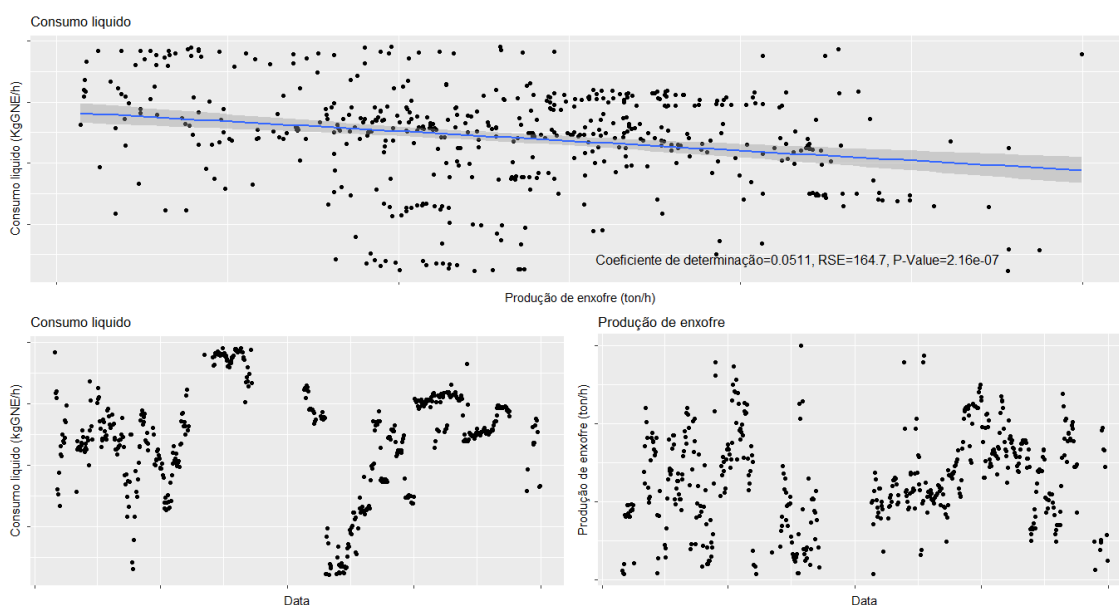


Figura 4.39-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de enxofre produzido.

Através da análise da figura 4.39, verifica-se que neste caso as produções são superiores aos consumos, ocorrendo um aumento nessa diferença no princípio de 2017. São assim produzidos dois modelos significativamente diferentes, utilizando dados após abril de 2016 e anteriores a julho de 2015.

Dado que a refinaria, actualmente, não possui modelos de cálculo individuais para a SS, representaram-se unicamente os modelos obtidos na dissertação através da figura 4.40.

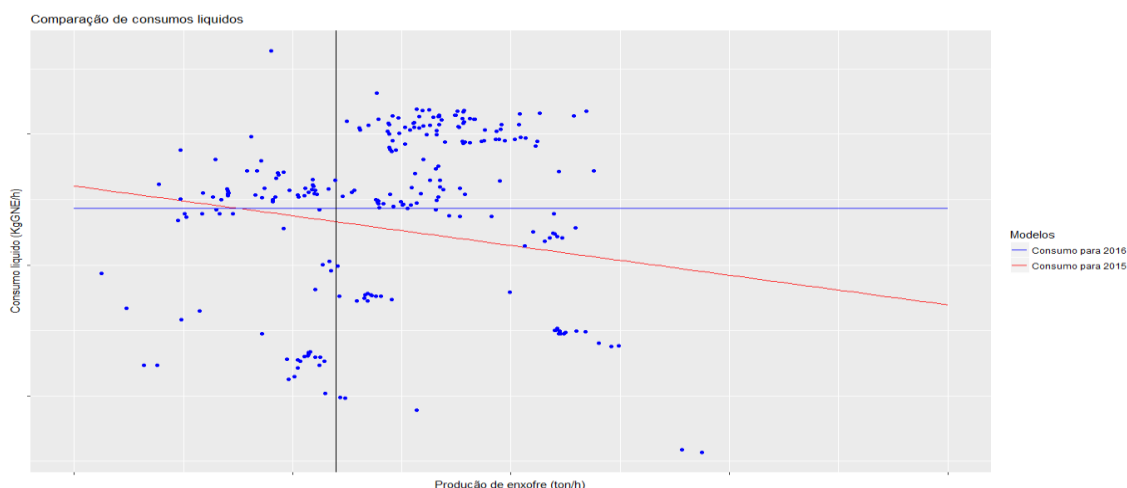


Figura 4.40-Comparação entre modelos lineares.

Através da figura 4.40, conclui-se que devido à elevada variabilidade dos consumos, o consumo líquido é independente da quantidade produzida de enxofre. Este consumo é independente em relação a qualquer variável explicativa.

4.18 SB

Não foram utilizadas TAGS, sendo os valores dos consumos e produções retirados a partir de balanços mensais, de produção e utilidades. Esta análise é realizada para valores de 1 de Janeiro de 2015 a 1 de Janeiro de 2017.

A tabela seguinte é utilizada com o mesmo objetivo que a tabela 4.1.

Tabela 4.16-Comparação entre valores reais e calculados.

| Consumo específico das utilidades (KgGNE/tonEnxofreProduzido) | |
|---|--|
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.94 |
| Vapor 24 barg | 0.06 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Tail gás | 0.00 |
| Total | 1.00 |

| Produção específica das utilidades (KgGNE/tonEnxofreProduzido) | |
|---|--|
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Vapor 24 barg | 3.24 |
| Vapor 3.5 barg | 0.71 |
| Total | 3.95 |
| Consumo específico líquido das utilidades (KgGNE/tonEnxofreProduzido) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Vapor 3.5 barg | 0.23 |
| Vapor 24 barg | 3.19 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Tail gás | 0.00 |
| Total | 2.96 |

De forma semelhante à SS, apesar de existirem diferenças quanto aos tipos de vapor, estas são esperadas dado o baixo valor de enxofre médio produzido. Sendo assim, esta diferença considera-se irrelevante.

No caso do SB, foram escolhidas as seguintes variáveis explicativas:

- Quantidade de enxofre produzido;
- Temperatura ambiente;
- *Fouling*.

Após definidas as variáveis explicativas, são analisados os consumos/produções de um ponto de vista individual no Anexo D.16, sendo apenas analisado o consumo líquido da unidade de forma detalhada no corpo da dissertação.

4.18.1 Consumo líquido

Concluindo a análise à SB, é utilizado o mesmo raciocínio que na unidade anterior, sendo representado graficamente, através da figura 4.41, o comportamento do consumo líquido e da quantidade de enxofre produzido.

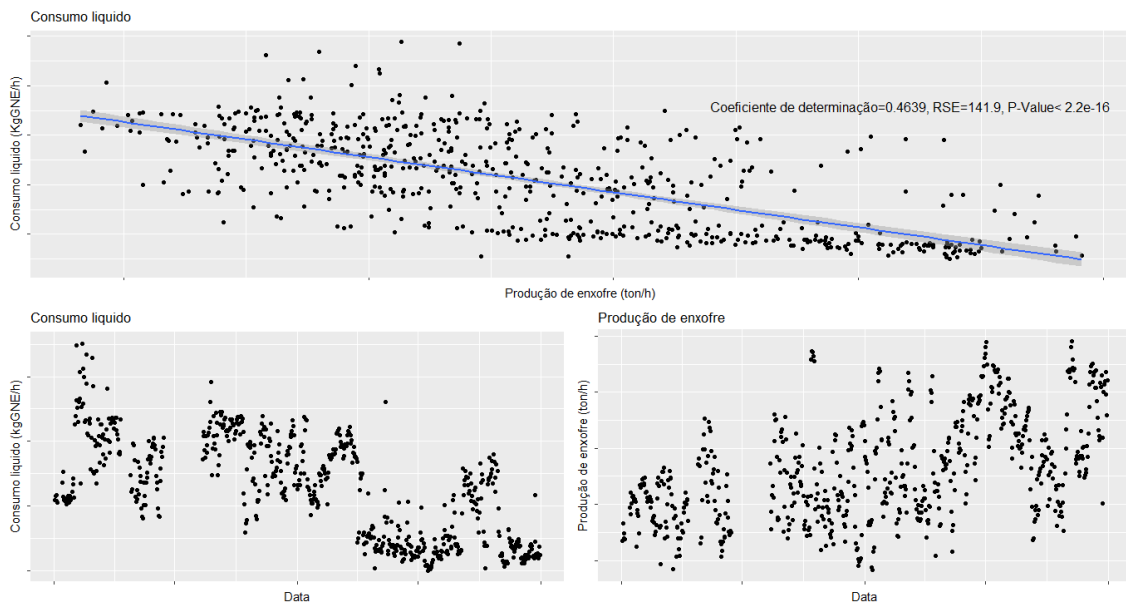


Figura 4.41-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de enxofre produzido.

De modo semelhante à SS, verifica-se uma maior produção do que consumo na unidade. Através da análise da figura 4.41, observa-se uma diminuição considerável do consumo líquido em abril de 2016, deste modo são formulados dois modelos significativamente diferentes a partir de dados anteriores e posteriores a abril de 2016.

Dado que a refinaria, actualmente, não possui modelos de cálculo individuais para a SB, representaram-se unicamente os modelos obtidos na dissertação através da figura 4.42.

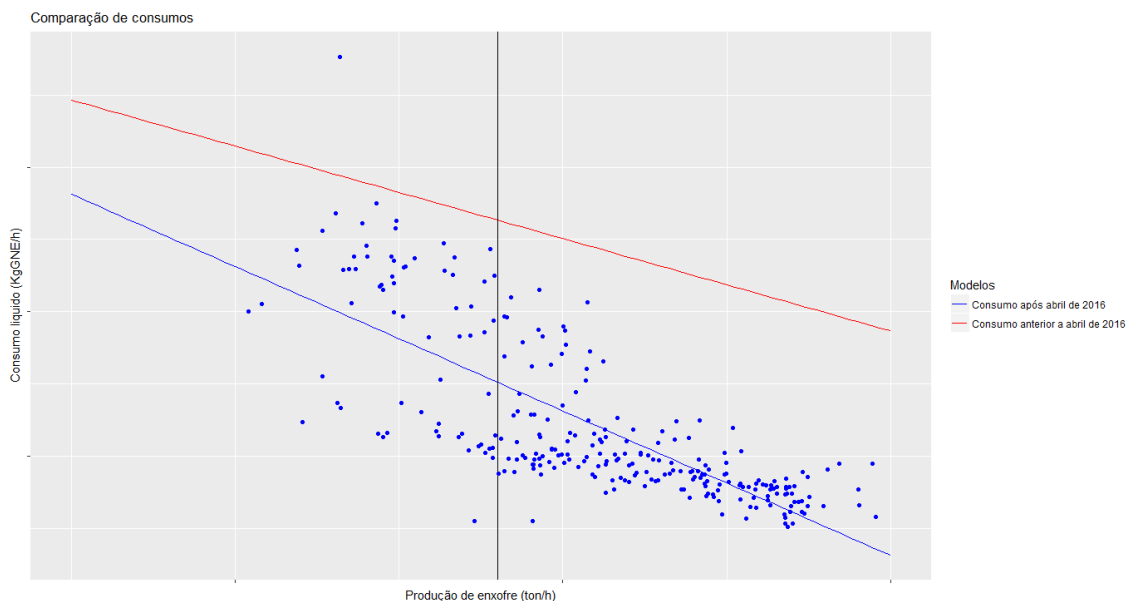


Figura 4.42-Comparação de modelos lineares.

Através da figura 4.42, conclui-se que o consumo líquido diminui com o aumento da quantidade de enxofre produzido, sendo independente em relação às restantes variáveis explicativas.

4.19 SC

Não foram utilizadas TAGS, sendo os valores dos consumos e produções retirados a partir de balanços mensais, de produção e utilidades. Esta análise é realizada para valores de 1 de Janeiro de 2015 a 1 de Janeiro de 2017, sendo utilizado de forma auxiliar, dados de 1 de Janeiro de 2017 a 30 de Junho de 2017.

A tabela seguinte é utilizada com o mesmo objetivo que a tabela 4.1.

Tabela 4.17-Comparação entre valores reais e calculados.

| Consumo específico das utilidades (KgGNE/ tonEnxofreProduzido) | |
|--|--|
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Tail gás | 0.00 |
| Total | 0.00 |
| Produção específica das utilidades (KgGNE/ tonEnxofreProduzido) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Vapor 24 barg | 0.87 |
| Vapor 3.5 barg | 0.59 |
| Total | 1.46 |
| Consumo específico líquido das utilidades (KgGNE/ tonEnxofreProduzido) | |
| Utilidades | Diferença absoluta entre valores da refinaria e da dissertação |
| Fuel gás | 0.00 |
| Energia elétrica | 0.00 |
| Tail gás | 0.00 |
| Vapor 24 barg | 0.87 |
| Vapor 3.5 barg | 0.59 |
| Total | 1.46 |

Dado que as diferenças entre os resultados não são significativas, conclui-se que se pode prosseguir com a análise detalhada da unidade processual.

No caso do SC, foram escolhidas as seguintes variáveis explicativas:

- Quantidade de enxofre produzido;
- Temperatura ambiente;
- *Fouling*.

Após definidas as variáveis explicativas, são analisados os consumos/produções de um ponto de vista individual no Anexo D.17, sendo apenas analisado o consumo líquido da unidade de forma detalhada no corpo da dissertação.

4.19.1 Consumo líquido

Concluindo a análise à SC, é utilizado o mesmo raciocínio que nas unidades anteriores, sendo representado graficamente, através da figura 4.43, o comportamento do consumo líquido e da quantidade de enxofre produzido.

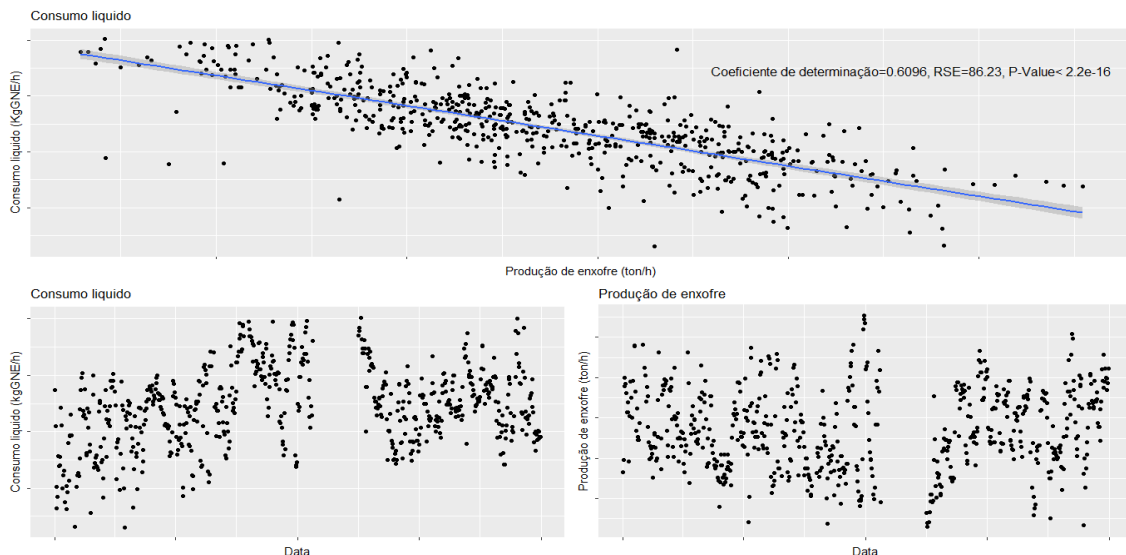


Figura 4.43-Comportamento do consumo líquido e da quantidade de enxofre produzido.

Através da figura 4.43, observa-se que o consumo líquido se relaciona, de forma significativa, com a quantidade de enxofre produzido, o que se deve ao facto do consumo bruto e a produção de vapor também se relacionarem de forma significativa e com pouca variabilidade com a quantidade de enxofre produzido. Foram produzidos dois modelos significativamente diferentes a partir dos dados anteriores e após a paragem da unidade.

A figura seguinte representa os modelos obtidos na dissertação e os estabelecidos pela refinaria.

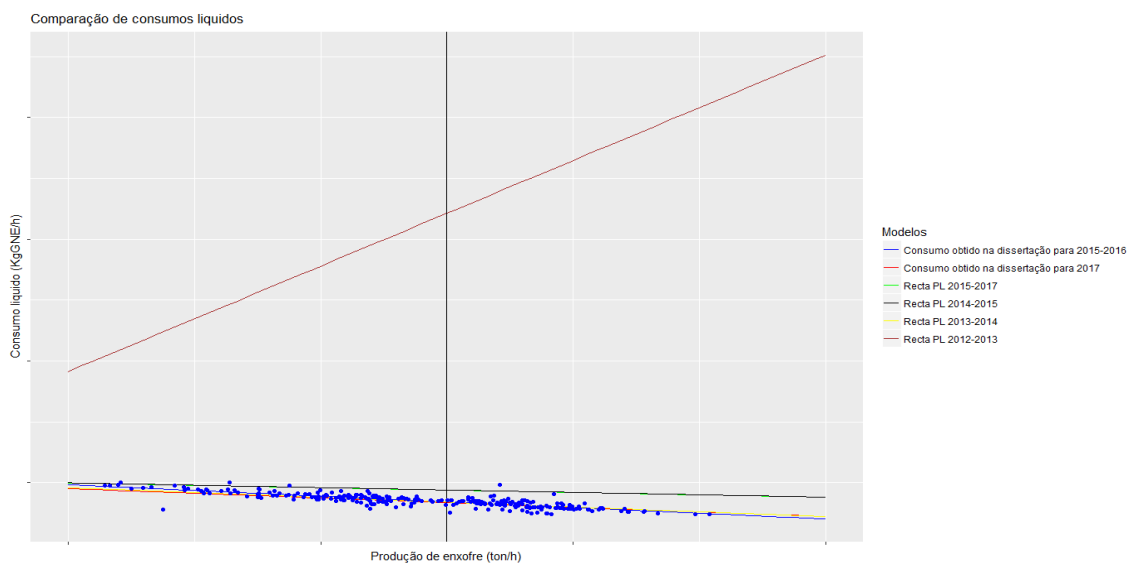


Figura 4.44-Comparação entre modelos obtidos na dissertação e estabelecidos pela refinaria.

Através da análise da figura 4.44, verifica-se que, à exceção do modelo produzido para o ano de 2012, todos os restantes indicam que o consumo líquido da unidade diminui com o aumento da quantidade de enxofre produzido. Dado que estes modelos se encontram próximos, não existe a necessidade de uma alteração quanto ao modelo actual estabelecido pela refinaria.

4.20 Conclusão do 1.º objectivo

Através do estudo das diversas unidades processuais, obtiveram-se os seguintes resultados quanto aos modelos lineares produzidos dos consumos líquidos:

Tabela 4.18-Resultados do primeiro objectivo da dissertação.

| Unidades | Modelos de consumo líquido | Modelo Sweet | Modelo Sour | Modelos de consumo líquido |
|------------------------|----------------------------|--------------|-------------|----------------------------|
| Destilação atmosférica | | | | |
| Destilação vácuo I | | | | |
| Destilação vácuo II | | | | |
| HD | | | | |
| HG | | | | |
| VB | | | | |
| PP+HN | | | | |
| HI | | | | |
| AL | | | | |
| Desisobutanizadora | | | | |
| FCC | | | | |
| HT | | | | |
| HR | | | | |
| HC | | | | |
| SS | | | | |
| SB | | | | |
| SC | | | | |
| Período de tempo | 2015-2016 | | | 2017 |

Devido ao elevado grau de informação representado nos modelos produzidos, estes são omitidos da dissertação por questões de privacidade.

Através da análise das unidades processuais, também se verificou que, apesar de variáveis explicativas, como a temperatura ambiente e o programa de fabrico influenciarem consumos ou produções a níveis individuais, estas normalmente não influenciam o consumo líquido da unidade. Desta forma, o modelo mais adequado para analisar e calcular a variação do consumo líquido da unidade é um modelo linear que não diferencie o tipo de programa de fabrico, em que o preditor é normalmente a quantidade de carga, o hidrogénio produzido ou o enxofre produzido, dependendo da unidade processual em estudo.

4.21 EII™

4.21.1 Estudo de variáveis significativas

Sendo o segundo objectivo da dissertação a obtenção de um modelo estatístico preditivo para o EII™ em função de variáveis macro com um coeficiente de determinação de no mínimo 0.9, iniciou-se a realização deste, através da comparação entre os programas *sour* e *sweet*, sendo o objectivo desta comparação: observar a influencia que a mudança de programa de fabrico tem no valor do EII™. Esta comparação encontra-se representada na figura 4.45.

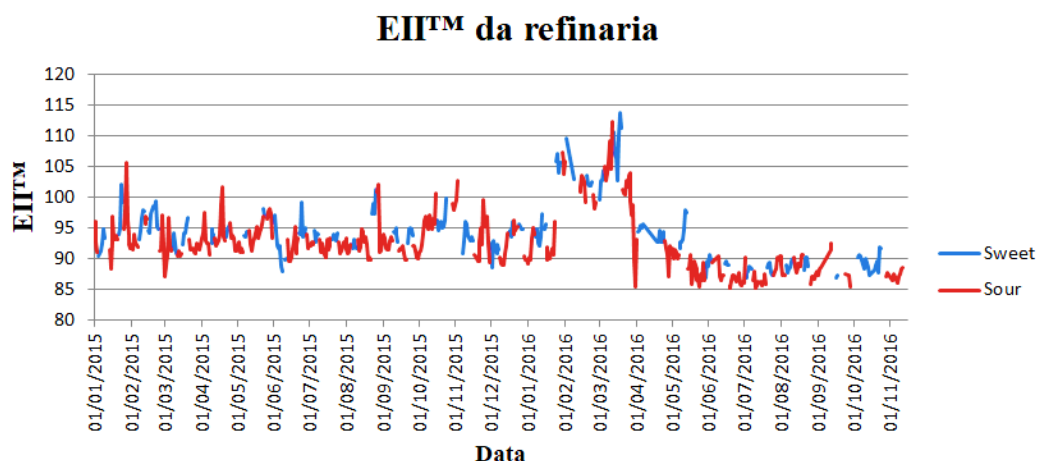


Figura 4.45-Comparação de programas de fabrico.

O primeiro trimestre de 2016 registou um aumento do valor de EII™, devido à paragem setorial da fábrica III, cujas unidades, por serem mais eficientes, contribuem para melhorar a métrica da refinaria, quando operam ao regime nominal.

O programa *sweet* é em média 2 pontos de EII™ superior ao programa *sour*. Esta diferença deve-se a diversos factores, sendo os principais:

- O maior consumo líquido específico nas unidades processuais quando utilizado o programa *sweet* em comparação com o programa *sour*;
- A menor quantidade produzida de vapor nas unidades de produção de hidrogénio e recuperação de enxofre quando utilizado o programa *sweet* em comparação com o programa *sour*.

Sendo assim, as 4 variáveis utilizadas para identificar os dois tipos de programas podem ser significantes na variação do EII™, deste modo estas são utilizadas na construção inicial do modelo descrito no segundo objectivo da dissertação.

De modo a se identificarem variáveis que influenciem o EII™, realizou-se um estudo detalhado das variáveis utilizadas pela refinaria no cálculo do mesmo. Estas podem ser consultadas no Anexo C.

Como referenciado no capítulo 3, inicialmente formou-se um modelo multilinear com as variáveis do Anexo C, utilizando valores entre 1 de Janeiro de 2015 e 17 de Novembro de 2016. O primeiro passo a concretizar de forma a se obter um modelo significativo, foi a eliminação de todos os *outliers*, variáveis constantes e variáveis dependentes do modelo.

Após a eliminação de 20 variáveis, representou-se através da figura 4.46, a comparação entre os valores obtidos pelo modelo e os valores reais de EII™.

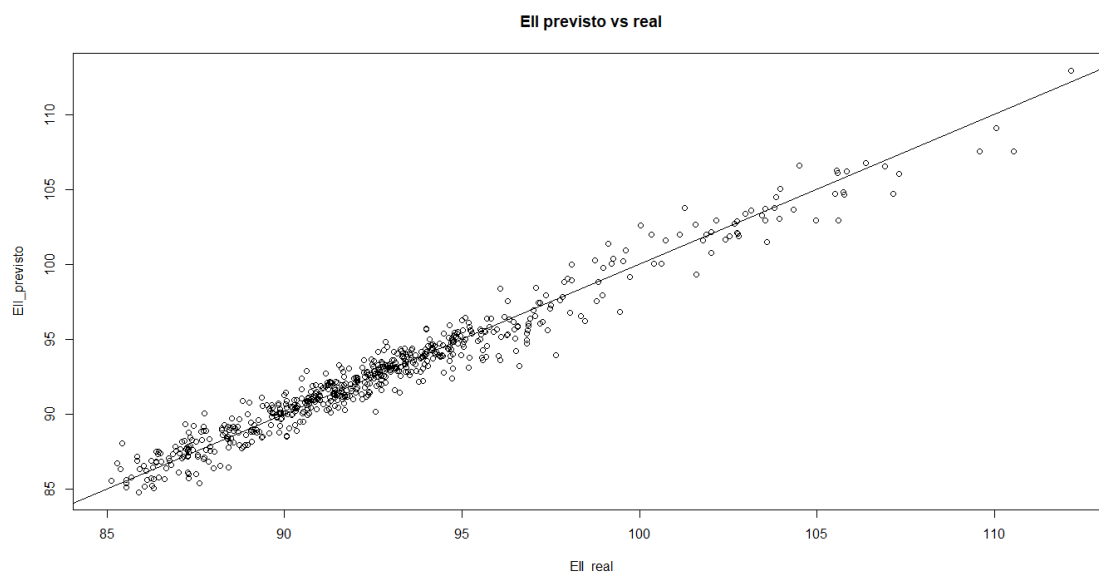


Figura 4.46-Comparação entre valores calculados e reais.

Através do raciocínio apresentado no capítulo 3, eliminaram-se as variáveis pouco influenciáveis no modelo. A tabela seguinte representa, com detalhe, cada passo de eliminação de variáveis até à obtenção do modelo final, sendo este constituído unicamente por variáveis significativas e de elevado coeficiente de normalização.

Tabela 4.19-Otimização do modelo.

| Nº Limpeza | Inicial | 1 ^a | 2 ^a | 3 ^a | 4 ^a | 5 ^a | 6 ^a | 7 ^a | 8 ^a | 9 ^a | 10 ^a | 11 ^a | 12 ^a | 13 ^a |
|------------------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Nº Preditores | 91 | 78 | 74 | 70 | 66 | 62 | 59 | 57 | 50 | 38 | 32 | 26 | 23 | 21 |
| R ² | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.95 | 0.94 | 0.94 | 0.94 | 0.93 |
| Erro normalizado | 0.22 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.22 | 0.24 | 0.24 | 0.25 | 0.26 | 0.28 |

Através da análise da tabela 4.19, conclui-se que a perda de cerca de 70 variáveis não influencia, de maneira considerável, o erro normalizado ou o coeficiente de determinação do modelo, sendo que o erro normalizado se encontra bastante baixo e o coeficiente de determinação é superior a 0.9.

Por outras palavras, a redução de variáveis não se traduz numa perda relevante de informação para o cálculo do EIITM.

A figura seguinte representa a comparação entre os valores obtidos pelo modelo constituído unicamente por 21 variáveis significativas e os valores reais de EIITM.

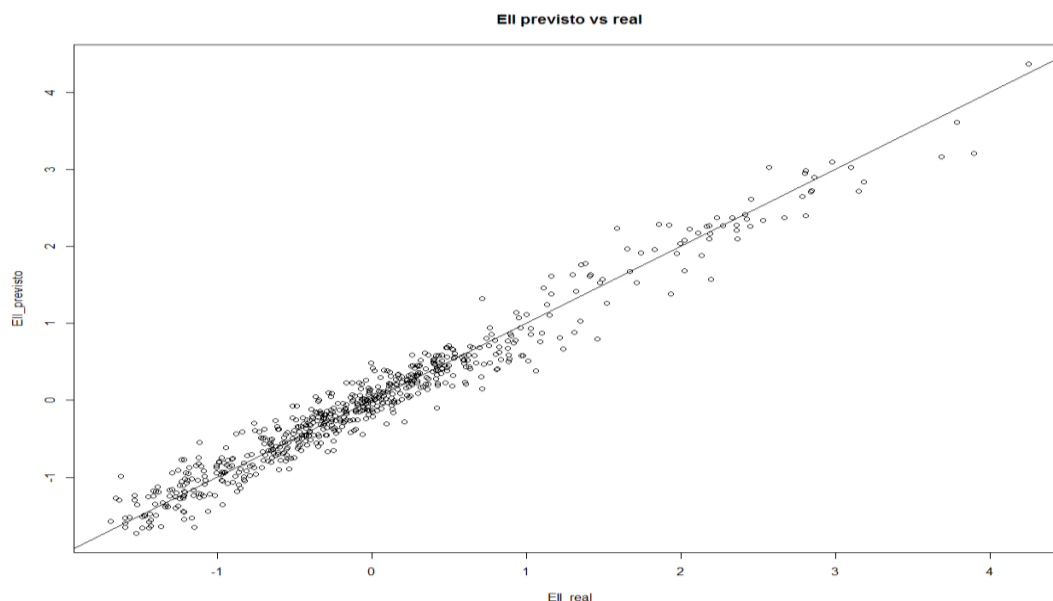


Figura 4.47-Comparação entre valores calculados e reais.

Adicionalmente utilizou-se o PCA de modo a verificar se seria possível uma maior redução de dimensionalidade do modelo. Este processo é representado através da figura 4.48.

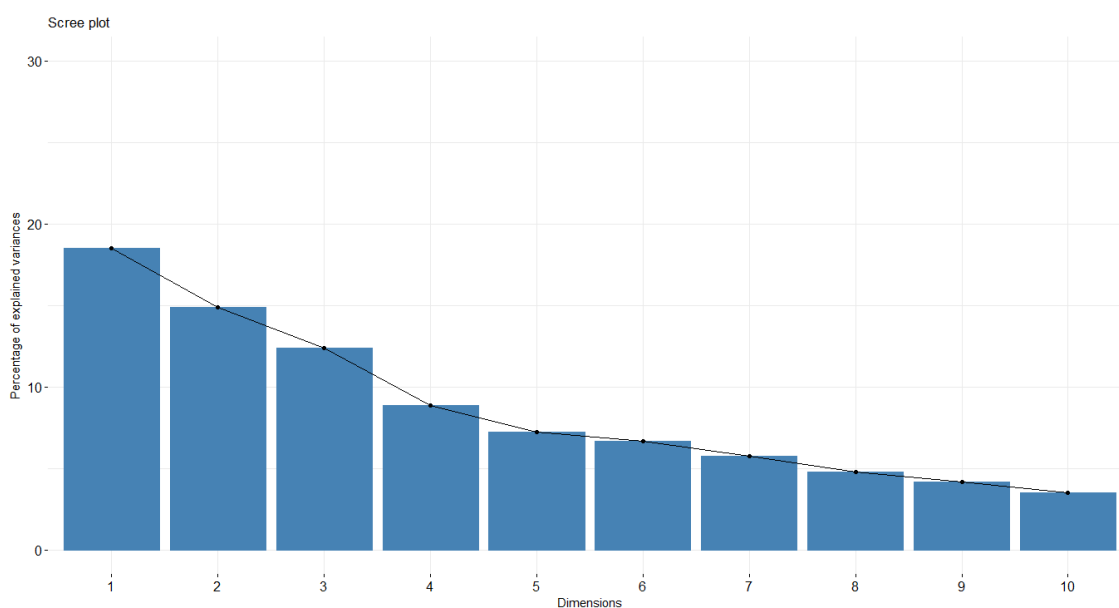


Figura 4.48-Redução de dimensionalidade através do PCA.

Através da figura 4.48, conclui-se que apesar de ter sido realizada uma redução de dimensionalidade, a homogeneidade em relação aos pesos de cada componente principal faz com que a redução de dimensionalidade e identificação de variáveis influenciáveis não seja eficaz. Deste modo, foi realizado o método dos coeficientes normalizados de modo a verificar quais seriam as variáveis mais influenciáveis no modelo e consequentemente no EII™.

Sendo necessário verificar se o modelo final produzido não se encontra *overfitted*, procedeu-se a uma partição de dados, em que 80% correspondem ao conjunto de treino e 20% ao conjunto de teste. Foi, como referido no capítulo 3, utilizado como método de treino uma *cross-validation* de deixar um valor de fora do conjunto de treino, de cada vez. Além do mais, também se procedeu à comparação de inúmeros modelos, sendo estes lineares, não lineares,

complexos e com interações. Através da figura seguinte é possível comparar os diversos modelos utilizados através do R^2 e erro normalizado.

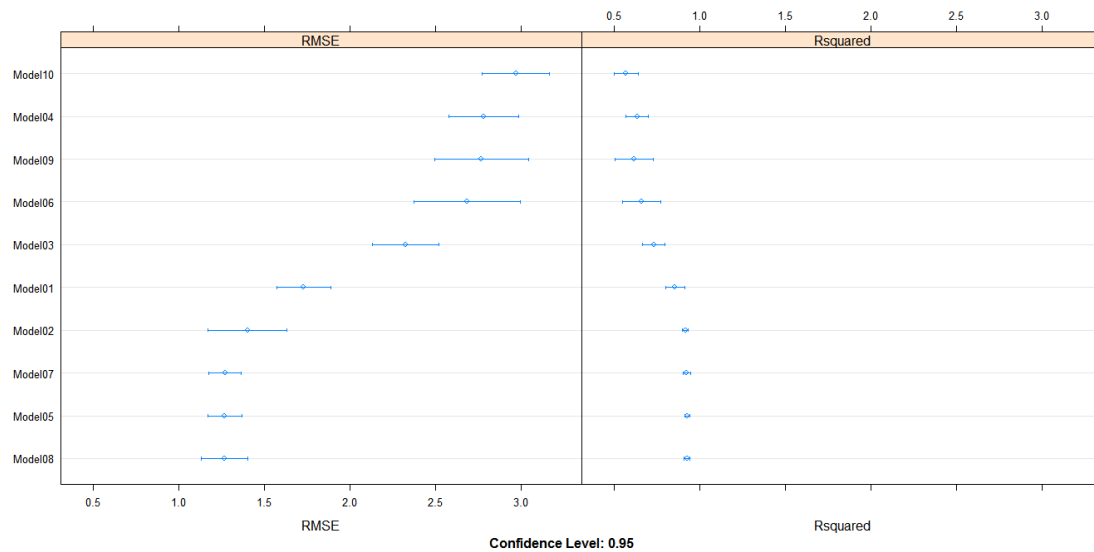


Figura 4.49-Comparação entre modelos.

Analisando a figura 4.49, chega-se à conclusão que o melhor modelo é o modelo 8, ou seja, um modelo de regressão multilinear simples, dado que este apresenta um menor erro normalizado e maior coeficiente de determinação (através do método de *cross-validation*) do que os demais modelos.

Como forma de verificar se o modelo obtido não se encontra *overfitted*, testou-se o modelo no conjunto de dados de teste, sendo esta integração demonstrada pela figura 4.50.

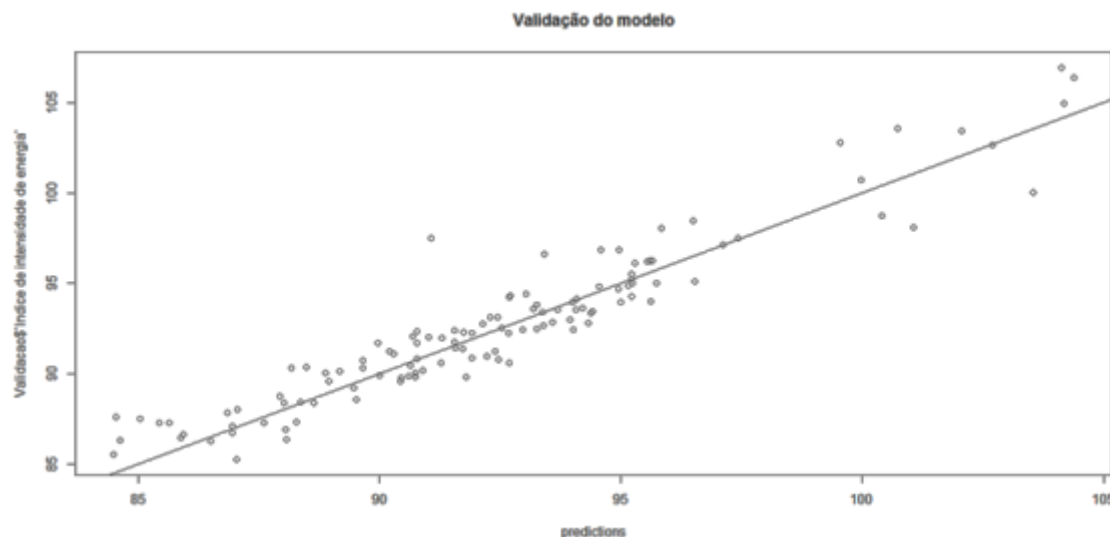


Figura 4.50-Teste do modelo significativo.

Através da figura 4.50, conclui-se que o modelo não é *overfitted*, dado que se ajusta com um erro mínimo em relação aos dados de teste. Como prova adicional a este não se encontrar *overfitted*, é o facto do R^2 e o erro normalizado terem valores de 0.92 e 1.27, respectivamente, quando utilizado a *cross-validation*, e de 0.93 e 1.23, respectivamente, quando

não utilizada a mesma, ou seja, o modelo sofre um desvio mínimo, quando utilizado o método de validação.

Através do estudo dos coeficientes normalizados do modelo validado, analisa-se as variáveis mais influenciáveis no cálculo do EIITM. A figura 4.51 compara os coeficientes normalizados do modelo validado para um intervalo de confiança de 95%.

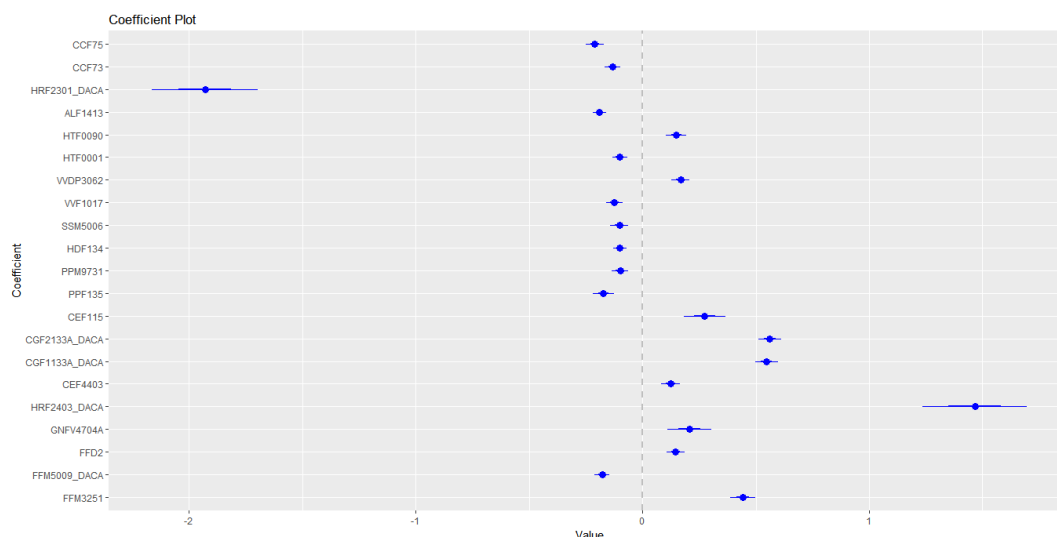


Figura 4.51-Comparação entre coeficientes normalizados.

Através da figura 4.51, destacaram-se as dez variáveis mais influenciáveis no modelo, sendo estas representadas na tabela 4.20.

Tabela 4.20-Variáveis mais influenciáveis no cálculo do EIITM.

| Tags | Descrições | Coefficiente de normalização | Efeito do aumento de 10% da variável no EII TM |
|---------------|--|------------------------------|---|
| HRF2301_DACA | Produção de hidrogénio puro da HR | -1.93 | -3.32 |
| HRF2403_DACA | Tail gás da PSA da HR para queima | 1.47 | 2.51 |
| CGF2133A_DACA | Água de alimentação da caldeira BR2 | 0.56 | 0.82 |
| CGF1133A_DACA | Água de alimentação da caldeira BR1 | 0.55 | 0.68 |
| FFM3251 | Consumo global de fuel gás excluindo a fábrica III | 0.44 | 2.64 |
| CEF115 | Água de alimentação da caldeira BF2 | 0.27 | 0.09 |
| CCF75 | Quantidade de crude processado no ramal A | -0.21 | -0.68 |
| GNFV4704A | Gás natural para a caldeira BF2 | 0.21 | 0.09 |
| ALF1413 | Caudal de alquilado para armazenagem | -0.19 | -0.32 |
| FFM5009_DACA | Caudal de fuel gás da fábrica I para a fábrica III | -0.18 | -0.09 |

Através da tabela 4.20, verifica-se que as variáveis que mais influenciam o EIITM estão relacionadas com o consumo de utilidades e os regimes de funcionamento da HR, da AL e da destilação atmosférica.

Nesta etapa, é importante ressaltar que o modelo em análise trata-se de uma regressão estatística, que mostra correlações da resposta (EIITM) e dos preditores do modelo. Não significa, contudo, que existam relações de causalidade direta entre eles. Importa também referir que existem múltiplos preditores que têm covariâncias significativas entre eles e que, por essa razão, o modelo elimina arbitrariamente esses preditores, guardando apenas um.

Quanto ao consumo de utilidades, existem 6 variáveis que influenciam de maneira significativa o EIITM, estas são:

- A água de alimentação da caldeira BR2 - esta variável está directamente relacionada com o consumo de vapor da refinaria, ou seja, quanto maior quantidade de água de alimentação, maior será a produção de vapor por parte da cogeração, sendo que este vapor será consumido na refinaria. Dado que esta variável aumenta directamente o consumo de vapor, o consumo atual de energia também irá aumentar, consequentemente levando a um aumento do EIITM;
- A água de alimentação da caldeira BR1 - de modo semelhante à variável anterior, um aumento desta levará a um aumento do EIITM;
- O consumo global de fuel gás, excluindo a fábrica III - de forma semelhante às variáveis anteriores esta levará a um aumento do consumo atual de energia e consequentemente a um aumento do EIITM;
- A água de alimentação da caldeira BF2 - de modo semelhante às variáveis anteriores levará a um aumento do EIITM;
- O gás natural para a caldeira BF2 - quanto maior o valor desta variável, maior será o consumo de vapor, consequentemente resultando num aumento do consumo atual de energia da refinaria e do EIITM. Curiosamente, o consumo de gás natural não é covariante com a produção de vapor da caldeira, porque além de gás natural a BF2 pode queimar fuel gás da refinaria. Esta variável sugere que se deve privilegiar o consumo de fuel gás na BF2 em detrimento de gás natural;
- O caudal de fuel gás da fábrica I para a fábrica III - em termos de calorías, é indiferente que a fábrica III consuma gás natural ou fuel gás da fábrica I. Não se encontrou uma relação de causalidade entre esta variável e o EIITM. Contudo, o modelo sugere que aumentar a transferência de fuel gás da fábrica I para a fábrica III, em detrimento de gás natural, favorece o EIITM.

Apesar de não existirem tantas variáveis influenciáveis quanto as relacionadas com o consumo de utilidades, as variáveis relacionadas com a HR são as que mais influenciam o EIITM, estas são:

- A produção de hidrogénio puro da HR - esta variável está directamente relacionada com o teor de enxofre nas cargas da destilação atmosférica e do HC, sendo que o aumento da produção de hidrogénio acarreta um aumento da produção de vapor, que alivia as necessidades de produção de vapor na central. Sendo uma unidade muito eficiente em termos energéticos, o *steam reformer* a carga mais alta contribui para a redução do EIITM;
- O tail gás da PSA da HR para queima - o tail gás é um subproduto da purificação do hidrogénio da unidade HR, e é utilizado como combustível principal no forno do *steam reformer*. Seria esperado que este estivesse fortemente correlacionado com a produção de hidrogénio da HR, contudo tal não é o caso. Suspeita-se que é independente porque a PSA da HR, por vezes, opera com 10 ou mesmo 8 leitos, em vez dos 12 habituais, o que origina um caudal de tail gás superior para a mesma produção de hidrogénio. Deste

modo, esta variável em oposição à anterior, quando aumenta, implica um aumento do consumo atual de energia da refinaria e consequentemente do EIITM.

Apesar de se encontrarem isoladas, as variáveis referentes ao regime da destilação atmosférica e da alquilação influenciam de forma considerável o EIITM. As variáveis são as seguintes:

- A quantidade de crude processado no ramal A - esta variável encontra-se directamente ligada ao tipo de programa utilizado na refinaria, sendo que quando esta é elevada, é propício a utilização de um programa sour que está directamente relacionado com a diminuição do consumo específico da unidade e consequentemente com a diminuição do EIITM;
- O caudal de alquilado para armazenagem – esta variável é, de certa forma surpreendente, dado não estar associada a uma unidade particularmente intensiva em energia. Contudo, o seu contributo para a redução do EIITM poderá estar relacionado com o facto de o consumo da AL ser relativamente independente do regime da unidade e, como tal, quando aumenta a produção, esse consumo é diluído no EIITM. Além disso, é uma unidade com um EIITM abaixo da média da refinaria, e contribui favoravelmente para a sua redução;

Após a análise das variáveis, verificou-se que o modelo obtido apresenta todas as condições para ser designado como a resposta para o 2.º objectivo da dissertação, ou seja, este não é *overfitted*, contém um coeficiente de determinação superior a 0.9 e contém variáveis macro. Porém, a finalidade inicial deste foi unicamente identificar variáveis que sejam influenciáveis no EIITM de modo a descobrir outras com peso semelhante que não sejam utilizadas no cálculo do EIITM pela refinaria.

Adicionalmente foi analisado o segundo melhor modelo da figura 4.49, sendo que este tem em conta as interacções entre as variáveis, tornando este modelo um bom indicador de quais as variáveis que farão um modelo preditor mais preciso e quais é que farão o modelo variar. A figura seguinte demonstra as melhores variáveis através do método *random forest*.

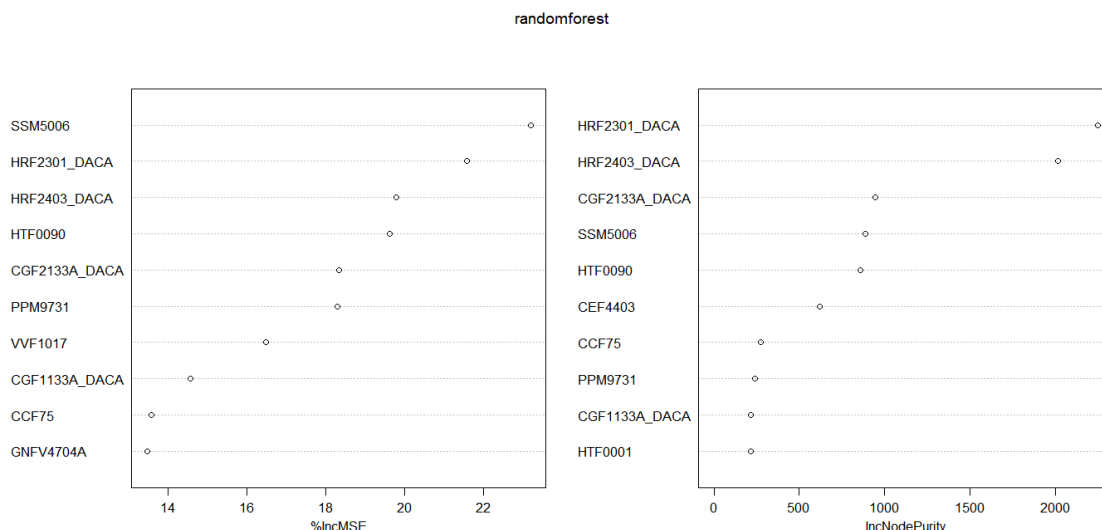


Figura 4.52-Método *random forest* .

Combinaram-se as duas propriedades, representadas pela figura 4.52, sendo as 5 variáveis mais influenciáveis do modelo representadas pela tabela 4.21.

Tabela 4.21-Variáveis influenciáveis.

| Tags | Descrições |
|--------------|---|
| HRF2301_DACA | Produção de hidrogénio puro da HR |
| HRF2403_DACA | Tail gás da PSA do HR para queima |
| SSM5006 | Carga ácida ao trem A da unidade SS |
| HTF0090 | Carga ao reactor de dessulfuração de nafta do FCC |
| PPM9731 | Off gás do Platformer para ROG-PSA |

Analisando a tabela 4.21, verifica-se que as duas primeiras variáveis são idênticas à análise anterior, concluindo assim que a unidade HR tem uma grande influência no EIITM.

Quanto às restantes variáveis estas estão relacionadas com o HT, o SS e a unidade de *reformer* catalítico.

A variável relacionada com o SS está directamente associada à produção de enxofre da unidade, sendo que uma maior produção de enxofre acarreta uma maior produção de vapor nas unidades de recuperação de enxofre, aliviando as necessidades de vapor da central, reduzindo assim o EIITM.

A variável relacionada com o HT está directamente relacionada com o consumo da unidade, sendo que quando o caudal aumenta, o consumo da unidade também aumenta, fazendo o EIITM consequentemente aumentar o seu valor.

A variável relacionada com a unidade de *reformer* catalítico está directamente relacionada com a produção de hidrogénio, sendo que quando o caudal de off gás aumenta a produção de hidrogénio aumenta, consequentemente resultando num aumento da produção de vapor das unidades de recuperação de enxofre e produção de hidrogénio, traduzindo-se numa diminuição do EIITM.

De modo a identificar um maior número de variáveis influenciáveis, foi formulado o mesmo raciocínio que na análise anterior, porém a partição de dados foi realizada antes da eliminação de variáveis não influenciáveis. Nesta análise, após a eliminação dos *outliers*, variáveis dependentes e variáveis constantes, efectuou-se a comparação de modelos de modo a verificar qual se ajustava melhor aos dados sem existir *overfitting* com o fim de se efectuar uma redução de variáveis mais eficaz.

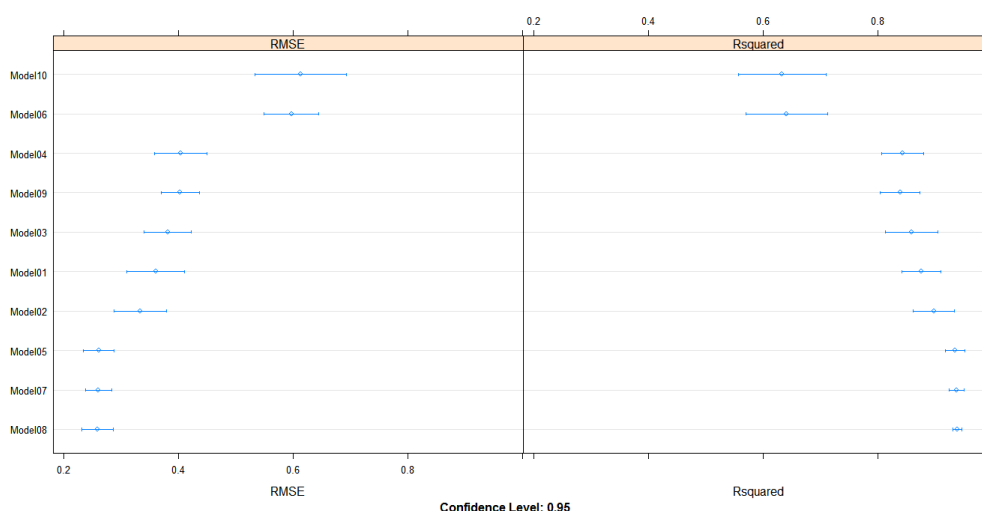


Figura 4.53-Comparação entre modelos.

À semelhança da anterior comparação de modelos, o melhor modelo foi o linear, dado que este contém um menor erro normalizado, assim como um maior coeficiente de determinação.

Como forma de verificar se o modelo obtido não se encontra *overfitted*, testou-se o modelo obtido no conjunto de dados de teste, sendo esta integração demonstrada pela figura 4.54.

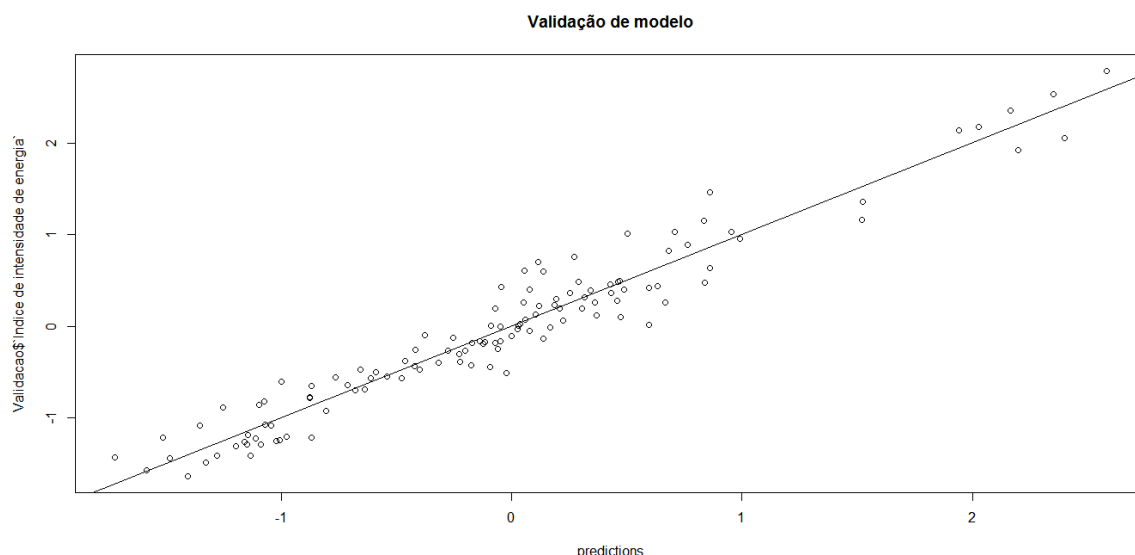


Figura 4.54-Teste do modelo inicial validado.

Através da figura 4.54, conclui-se que o modelo não é *overfitted*, dado que se ajusta com um erro mínimo em relação aos dados de teste.

Através do raciocínio apresentado no capítulo 3, eliminaram-se as variáveis pouco influenciáveis no modelo. A seguinte tabela representa, com detalhe, cada passo de eliminação de variáveis até à obtenção do modelo final, sendo este constituído unicamente por variáveis significativas e de elevado coeficiente de normalização.

Tabela 4.22-Otimização do modelo.

| Nº Limpeza | Inicial | 1ª | 2ª | 3ª | 4ª | 5ª | 6ª | 7ª | 8ª | 9ª | 10ª | 11ª |
|------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Nº Preditores | 90 | 76 | 64 | 59 | 55 | 45 | 39 | 35 | 30 | 26 | 25 | 24 |
| R² | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.94 | 0.94 | 0.94 |
| Erro normalizado | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.23 | 0.24 | 0.24 | 0.24 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |

Apesar do modelo conter mais preditores, que o modelo analisado anteriormente, este apresenta um coeficiente de determinação superior, assim como um erro de normalização inferior.

De modo a verificar se o modelo de regressão linear é o melhor candidato a prevêr o comportamento do EII™, comparou-se mais uma vez os diferentes tipos de modelos através da figura 4.55.

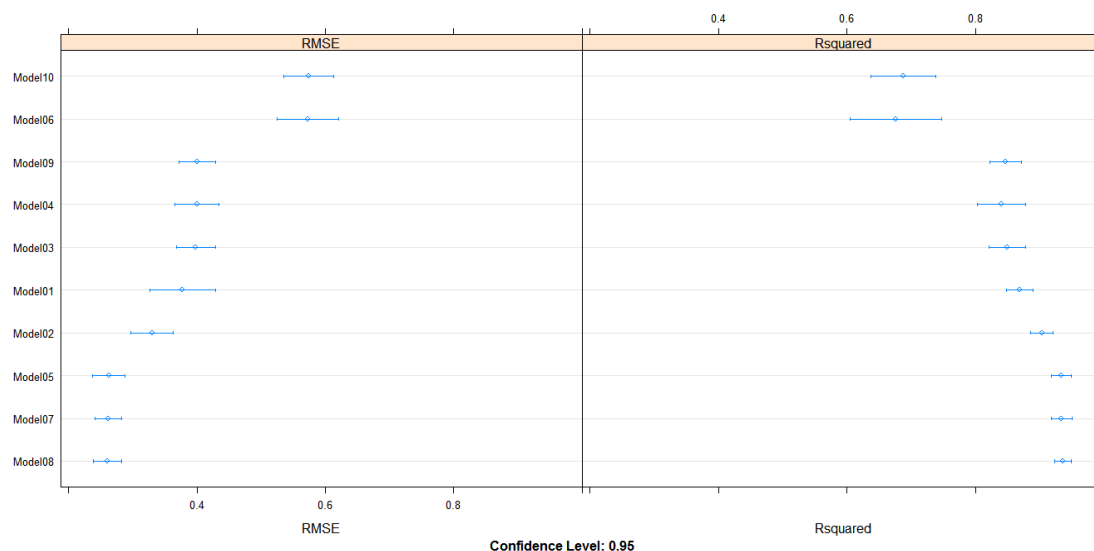


Figura 4.55-Comparação entre modelos.

Analisando a figura 4.55 chega-se à mesma conclusão que na análise anterior, ou seja, o melhor modelo é o modelo de regressão multilinear simples, dado que, através do método de cross-validation, apresenta um menor erro normalizado e maior coeficiente de determinação, em relação aos demais modelos. Como forma de verificar se o modelo obtido, não se encontra *overfitted*, testou-se o modelo obtido no conjunto de dados de teste, sendo esta integração demonstrada pela figura 4.56.

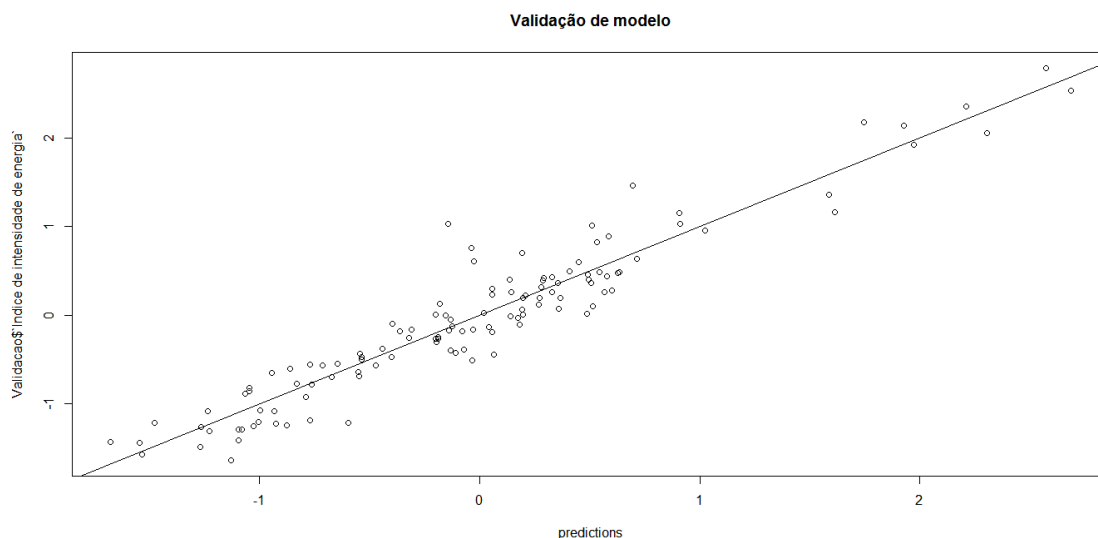


Figura 4.56-Teste do modelo validado.

Através da figura 4.56, conclui-se que, de modo semelhante às anteriores análises, o modelo não é *overfitted*, dado que se ajusta com um erro mínimo em relação aos dados de teste. Como prova adicional a este não se encontrar *overfitted* é o facto do R^2 e o erro normalizado terem o valor respectivamente de 0.94 e 0.26, quando utilizada a cross-validation, e de 0.94 e 0.25, quando não utilizada, ou seja o modelo sofre um desvio mínimo, quando utilizado o método de validação

Através do estudo dos coeficientes normalizados do modelo validado, analisa-se as variáveis mais influenciáveis no cálculo do EIITM. A figura seguinte compara os coeficientes normalizados do modelo validado para um intervalo de confiança de 95%.

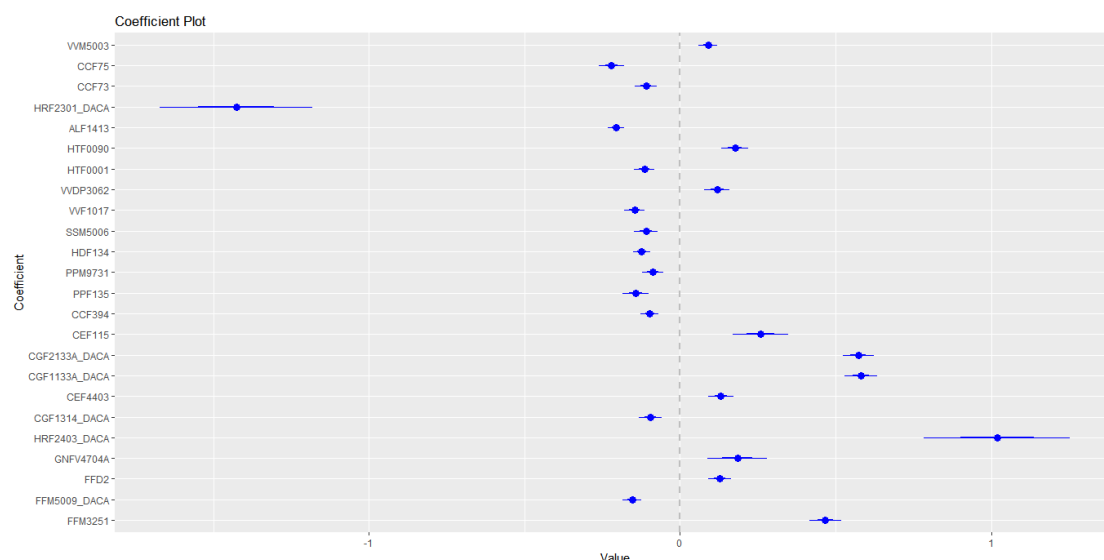


Figura 4.57-Comparação entre coeficientes normalizados.

Através da figura 4.57, destacaram-se as dez variáveis mais influenciáveis no modelo, sendo estas representadas na tabela 4.23.

Tabela 4.23-Variáveis mais influenciáveis no cálculo do EIITM.

| Tags | Descrições | Coeficiente de normalização | Efeito do aumento de 10% da variável no EII TM |
|---------------|--|-----------------------------|---|
| HRF2301_DACA | Produção de hidrogénio puro da HR | -1.43 | -2.46 |
| HRF2403_DACA | Tail gás da PSA da HR para queima | 1.02 | 1,73 |
| CGF1133A_DACA | Água de alimentação da caldeira BR1 | 0.58 | 0,70 |
| CGF2133A_DACA | Água de alimentação da caldeira BR2 | 0.57 | 0.82 |
| FFM3251 | Consumo global de fuel gás excluindo a fábrica III | 0.47 | 2,83 |
| CEF115 | Água de alimentação da caldeira BF2 | 0.26 | 0,10 |
| CCF75 | Quantidade de crude processado no ramal A | -0.22 | -0,73 |
| ALF1413 | Caudal de alquilado para armazenagem | -0.21 | -0,36 |
| GNFV4704A | Gás natural para a caldeira BF2 | 0.18 | 0.06 |
| HTF0090 | Carga ao reactor de dessulfuração de nafta do FCC | 0.18 | 0,72 |

Através da análise da tabela 4.23, verifica-se que as variáveis identificadas como as mais influenciáveis são as mesmas que nas análises anteriores, não sendo reconhecida nenhuma nova variável.

Através da análise realizada ao longo do subcapítulo, foram adicionadas variáveis ao modelo macro relacionadas com a HR, o consumo da refinaria, a destilação atmosférica e a alquilação.

4.21.2 Modelo estatístico preditivo

Sendo o objetivo correlacionar variáveis macro com o EII™ de modo a originar um modelo de cálculo perto do ideal representou-se a refinaria de Sines como se esta fosse uma caixa negra, de modo a adicionar um maior número de variáveis ao modelo macro. Foram analisadas, inicialmente, todas as matérias-primas, produtos, consumos e factores externos em relação à refinaria entre 1 de Janeiro de 2015 e 17 de Novembro de 2016. Foram, em seguida, eliminadas todas as variáveis cujos valores (retirados pelo *Aspen Process Explorer*) estivessem nulos ou não fossem representados durante um longo período de tempo.

Após esta selecção de variáveis, foi formado um modelo constituído apenas por variáveis macro, sendo parte destas com origem em balanços de produção e as restantes em TAGS. As TAGS utilizadas no modelo macro encontram-se representadas no Anexo C.

À semelhança dos anteriores modelos, o primeiro passo, de forma a se obter um modelo significativo, foi a eliminação de todos os *outliers*. Esta eliminação encontra-se representada na tabela 4.24.

Tabela 4.24-Eliminação de *outliers*.

| Limpeza | Inicial | 1ª |
|------------------|---------|------|
| Observações | 640 | 612 |
| Preditores | 54 | 54 |
| R ² | 0.28 | 0.92 |
| Erro normalizado | 14.26 | 1.43 |

Utilizando os métodos mencionados no capítulo 3, verificou-se que não seria necessária uma limpeza mais pormenorizada aos dados. À semelhança do modelo anterior, eliminaram-se as variáveis pouco influenciáveis. A tabela seguinte representa, com detalhe, cada passo de eliminação de variáveis até à obtenção do modelo significativo, sendo este exclusivamente constituído por variáveis significativas e de elevado coeficiente de normalização.

Tabela 4.25-Otimização do modelo.

| Limpeza | Inicial | 1ª | 2ª | 3ª | 4ª | 5ª | 6ª | 7ª |
|------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|
| Dados | 612 | 612 | 612 | 612 | 612 | 612 | 612 | 612 |
| Preditores | 54 | 47 | 40 | 36 | 33 | 31 | 29 | 28 |
| R ² | 0.92 | 0.92 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 0.91 |
| Erro normalizado | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.31 | 0.31 | 0.31 |

Inicialmente o erro normalizado diminuiu de 1.43 para 0.30 devido a uma normalização das variáveis. De modo semelhante aos modelos anteriores, verificou-se que os componentes principais originados pelo PCA não têm uma diferença significativa quanto aos seus pesos na variação do valor do EII™. deste modo, foi utilizado o método dos coeficientes normalizados, com o objectivo de identificar quais as variáveis mais influenciáveis do modelo.

Utilizando o mesmo método de partição de dados, de validação de resultados e de comparação de modelos, em relação aos anteriores modelos, obteve-se a figura 4.58.

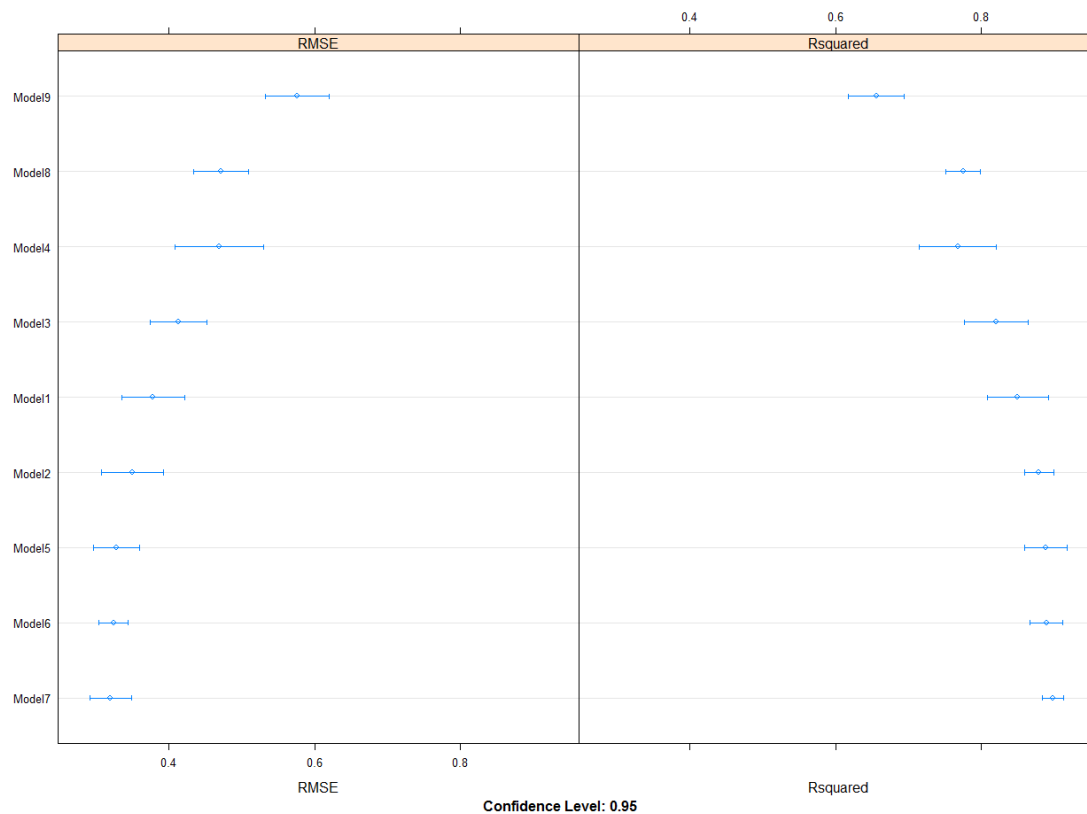


Figura 4.58-Comparação entre modelos.

Analisando a figura 4.58, chega-se à conclusão que o melhor modelo é o modelo 7, ou seja, um modelo de regressão multilinear simples, dado que através do método de cross-validation, este apresenta um menor erro normalizado e maior coeficiente de determinação, em relação aos demais modelos.

Como forma de verificar se o modelo obtido não se encontra *overfitted*, testou-se o modelo obtido no conjunto de dados de teste, sendo esta integração demonstrada pela figura 4.59.

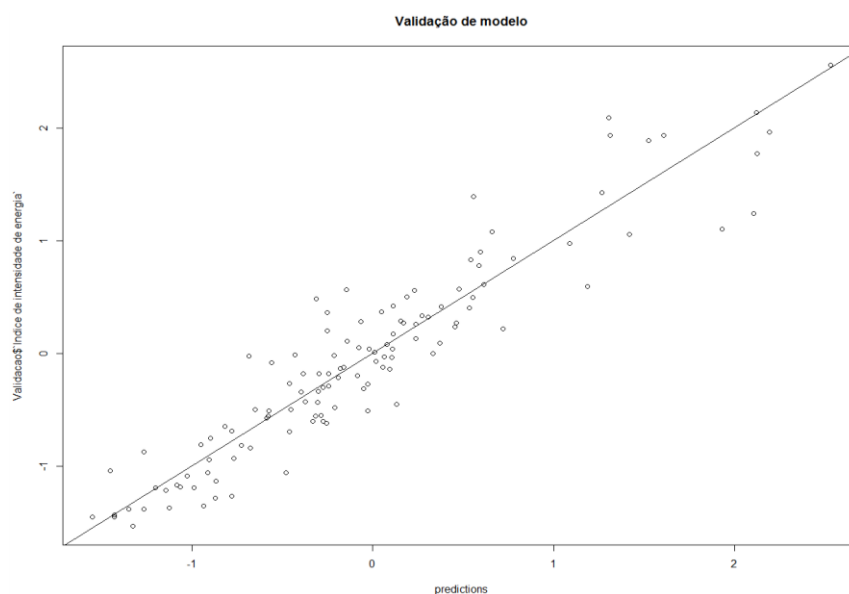


Figura 4.59-Teste do modelo validado.

Através da figura 4.59, conclui-se que o modelo não é *overfitted*, dado que se ajusta com um erro mínimo em relação aos dados de teste. Como prova adicional a este não se encontrar *overfitted*, é o facto do R^2 e o erro normalizado terem o valor respectivamente de 0.90 e 0.33 quando utilizada a cross-validation, e de 0.91 e 0.32 quando não utilizada, ou seja o modelo sofre um desvio mínimo, quando utilizado o método de validação.

Dado que o modelo obtido, através de variáveis macro, contém um coeficiente de determinação de 0.9 e não se encontra *overfitted*, considera-se o segundo objectivo da dissertação cumprido. Porém, de modo a retirar mais informações deste, e de modo a verificar se este se encontra coerente com a realidade, foram identificadas as 5 variáveis mais influenciáveis do mesmo, através da comparação entre os coeficientes de normalização.

A figura seguinte compara os coeficientes normalizados do modelo validado, para um intervalo de confiança de 95%.

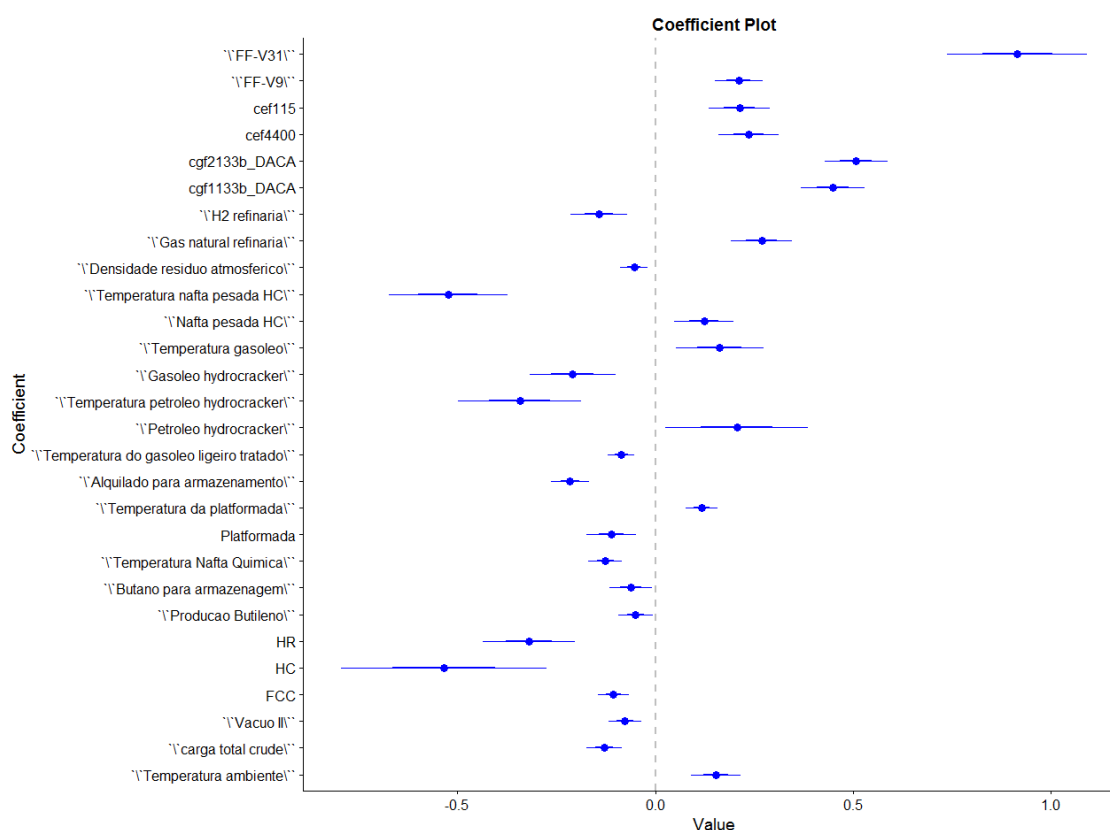


Figura 4.60-Comparação entre coeficientes normalizados.

Através da figura 4.60, destacaram-se as cinco variáveis mais influenciáveis no modelo, sendo estas representadas na tabela seguinte.

Tabela 4.26- Variáveis mais influenciáveis no cálculo do EIITM.

| Abreviaturas | Descrições | Coefficiente de normalização | Efeito do aumento de 10% da variável no EII TM |
|-----------------------------|---|------------------------------|---|
| FF-V31 | Consumo de fuel gás da fábrica III | 0.92 | 1.63 |
| HC | Carga da unidade HC | -0.53 | -0.85 |
| Temperatura nafta pesada HC | Temperatura da nafta pesada no fundo do side stripper HC-V-04 | -0.52 | -0.94 |
| cgf2133b_DACA | Caudal de vapor de alta pressão da caldeira BR2 | 0.51 | 0.75 |
| cgf1133b_DACA | Caudal de vapor de alta pressão da caldeira BR1 | 0.45 | 0.56 |

Através da tabela 4.26, verifica-se que as variáveis que mais influenciam o EIITM estão relacionadas com o consumo de vapor e o regime de funcionamento do HC. Apesar de teoricamente algumas destas variáveis poderem estar correlacionadas de um modo significativo, este facto não acontece, o que se deve à utilização do método de cálculo da média, de modo a retirar os valores das TAGS utilizadas.

Quanto ao consumo de vapor, existem 3 variáveis que influenciam de maneira significativa o EIITM, estas são:

- O consumo de fuel gás da fábrica III - esta variável está directamente relacionada com o consumo atual de energia da refinaria, sendo que quando o consumo de fuel gás aumenta, o consumo atual de energia aumenta, provocando consequentemente um aumento quanto ao EIITM;
- O caudal de vapor de alta pressão da caldeira BR2 - em semelhança às variáveis estudadas anteriormente, quanto à caldeira BR2, o aumento do caudal de vapor fará com que o consumo atual de energia da refinaria aumente, provocando um aumento do EIITM;
- O caudal de vapor de alta pressão da caldeira BR1 - em semelhança à variável anterior, um aumento quanto ao caudal, provocará um aumento no EIITM.

Quanto ao regime de funcionamento do HC, existem 2 variáveis que influenciam de maneira significativa o EIITM, estas são:

- A temperatura da nafta pesada no fundo do side stripper HC-V-04 - esta variável está directamente relacionada com o perfil térmico da coluna fraccionadora e, consequentemente, com a produção de vapor do *pumparound*, sendo que quando o perfil de temperatura da coluna de fraccionamento do HC aumenta, a produção de vapor também aumenta, causando assim uma diminuição quanto ao consumo de energia e consequentemente do EIITM;
- A carga da unidade HC - quando esta variável aumenta, o consumo específico de utilidades da unidade diminui, causando uma diminuição do EIITM.

4.22 Conclusão do 2.º objectivo

Apesar da existência de diversos modelos produzidos através da utilização do minitab, neural designer e métodos alternativos do R, só é demonstrado o resultado da integração, do modelo validado composto por variáveis macro no gráfico de acompanhamento diário do EII™. A figura seguinte apresenta essa integração para o período de tempo entre 1 de Outubro de 2014 e 15 de Novembro de 2016.

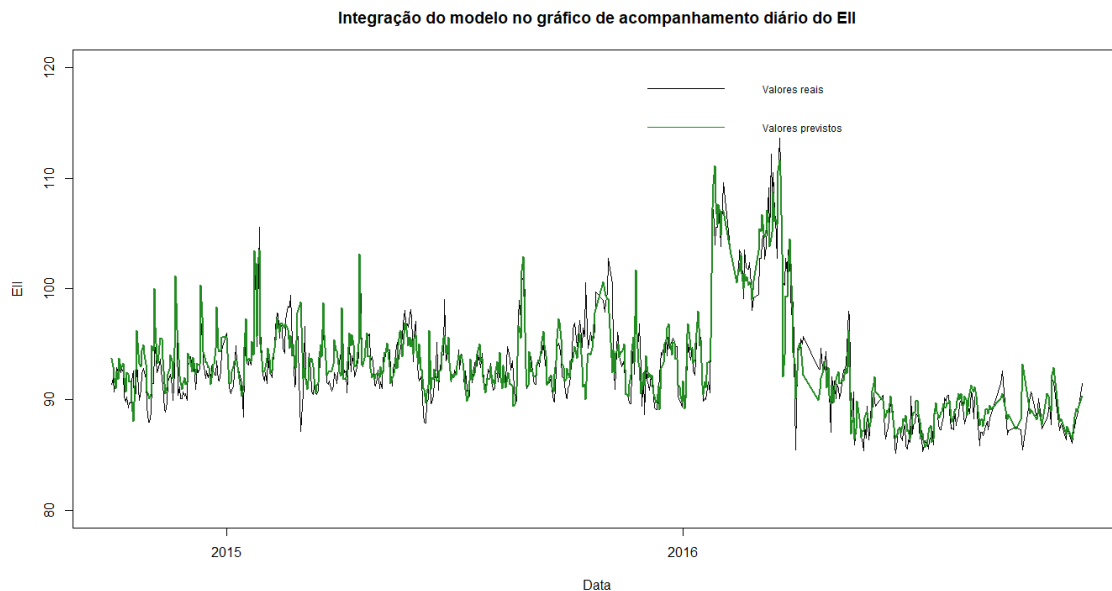


Figura 4.61-Integração do modelo preditivo no gráfico de acompanhamento diário do EII™.

A partir da análise da figura 4.61, verifica-se uma boa aproximação entre os valores calculados pelo modelo, e os reais. Porém, de modo a se observar melhor essa aproximação, realizou-se através da figura 4.62, um gráfico de paridade entre os valores reais e calculados.

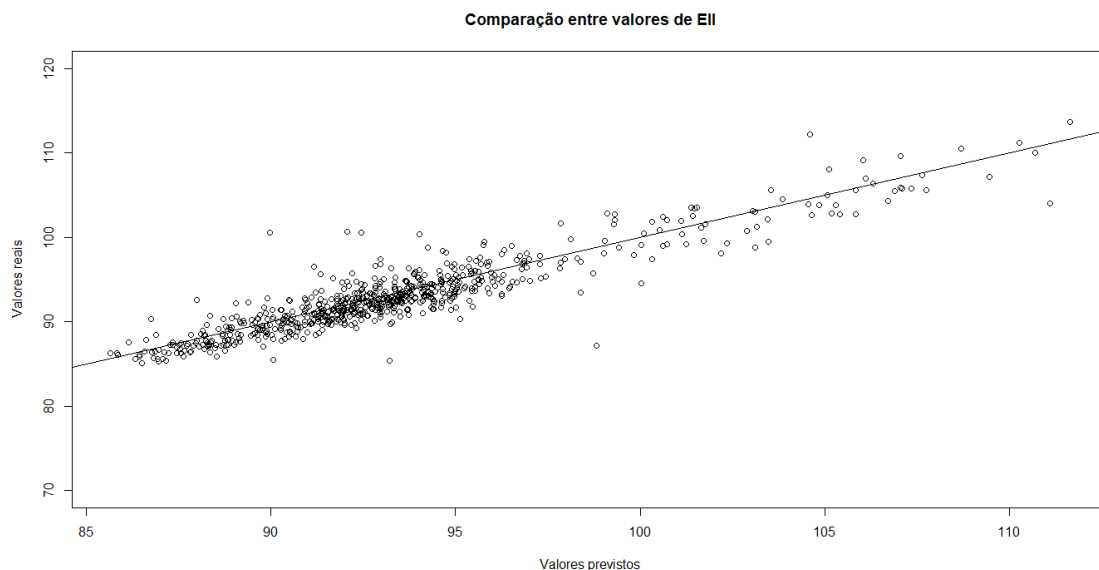


Figura 4.62-Comparação entre valores reais e calculados.

Através da análise da figura 4.62, verifica-se que o modelo validado a partir de variáveis macro é um ótimo modelo preditor, cumprindo todos os requisitos do segundo objetivo da dissertação. É de se notar que o principal desvio do gráfico de acompanhamento diário do EIITM deve-se a uma interpolação entre os valores de abril, dado a não existência ou erros consideráveis dos valores retirados através das TAGS.

Conclui-se através desta análise que as variáveis que mais influenciam o EIITM estão relacionadas com o consumo de utilidades e os regimes de operação da AL, da destilação atmosférica, da HR, da HT e do HC.

4.23 Programas de fabrico

O terceiro objetivo da dissertação é bastante similar ao segundo, dado que os dois têm como objetivo a obtenção de modelos preditivos. O terceiro objetivo da dissertação é a obtenção de um modelo preditivo de cálculo do EIITM em função dos programas de fabrico individuais. O programa de fabrico é uma simulação das cargas, rendimentos, propriedades e configuração da refinaria utilizado no planeamento da produção. Como se trata de uma previsão de produção, a expectativa é de que possa ser utilizado para antecipar o valor do EIITM. Isso permitiria passar de uma atitude reativa, de explicar a razão de variações passadas do EIITM, para uma atitude proactiva, permitindo antecipar e até influenciar a evolução do EIITM.

Os programas de fabrico individuais, como referenciado no capítulo 3, têm a duração média de 4 dias, sendo que todos os seus dados durante esse período de tempo são constantes. Dado que a mudança de programas pode ocorrer no meio de um dia, o primeiro e último dia de operação dos programas são retirados do modelo. Os valores das variáveis estudadas são retirados dos ficheiros de programas de fabrico individuais, após a obtenção dos valores, à semelhança das anteriores análises, procedeu-se à eliminação de variáveis constantes ao longo do período de tempo analisado, sendo este entre 1 de outubro de 2014 e 15 de novembro de 2016. De seguida, através do programa R, eliminaram-se todas as variáveis linearmente dependentes, restando unicamente as independentes, às quais foram então adicionadas a temperatura ambiente e os dias após limpeza da destilação atmosférica.

A figura seguinte representa a aproximação do modelo inicial à realidade.

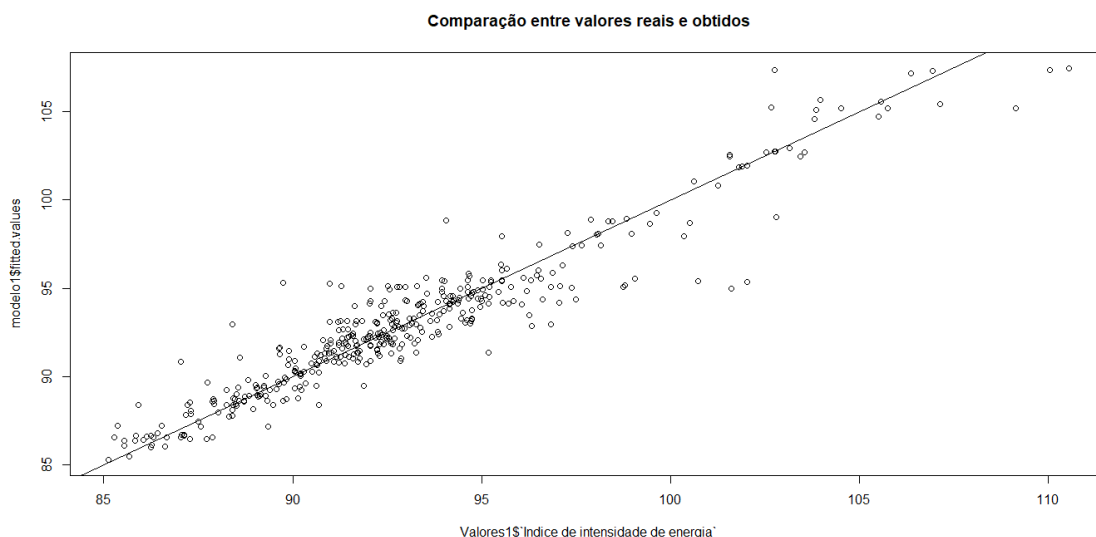


Figura 4.63-Comparação entre valores reais e calculados.

Através da figura 4.63, observa-se que os valores calculados estão próximos dos reais, o erro deste modelo deve-se ao facto de preditores iguais terem respostas diferentes, ou seja, se as

duas respostas forem significativamente diferentes, o modelo não será capaz de as calcular com exactidão. Porém, excepto em acontecimentos pontuais, este não aparenta ser o caso. Adicionalmente, não se podem eliminar mais variáveis do modelo, dado que este tem o critério limitante de apresentar um coeficiente de determinação superior ou igual a 0.9. O modelo utilizado, à semelhança dos anteriores, foi um modelo de regressão multilinear, dado que este é menos propício a ficar *overfitted* com uma grande quantidade de preditores, como é o caso deste modelo constituído por 129 preditores. De modo a verificar se os valores não se encontram *overfitted*, especialmente por causa da razão anteriormente mencionada, utilizou-se o mesmo método de partição e treino que nos subcapítulos anteriores.

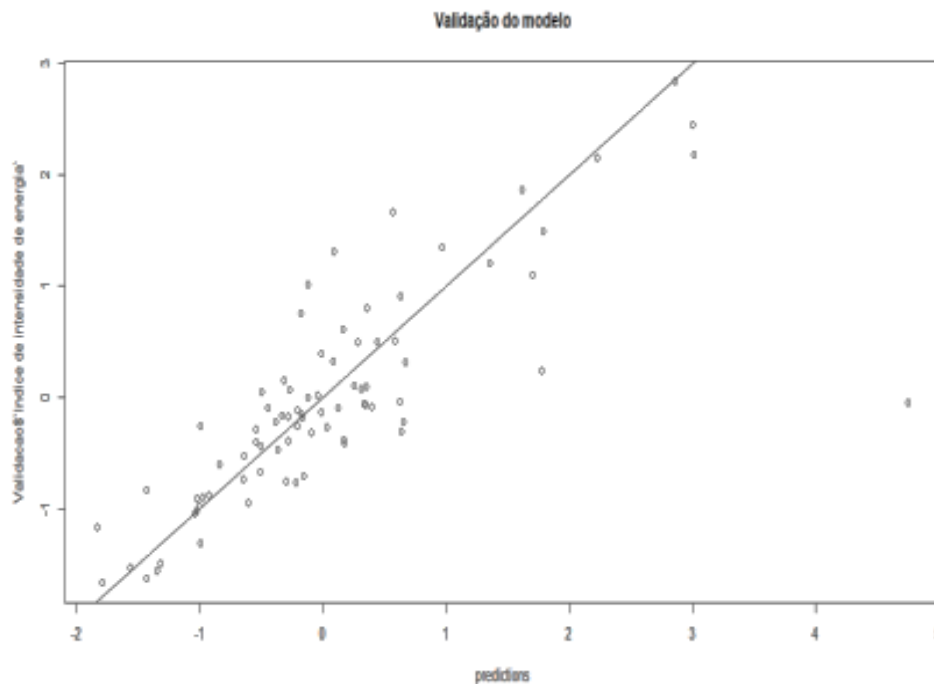


Figura 4.64-Teste do modelo validado.

Através da análise da figura 4.64, verifica-se que, à exceção de um valor, o modelo é um bom aproximador em relação à realidade. Esse *outlier* deve-se ao facto de preditores iguais terem respostas significativamente diferentes. Concluindo, dado que o modelo não é *overfitted* e apresenta um coeficiente de determinação acima de 0.9, considera-se como concluído o terceiro objectivo da dissertação.

De modo semelhante aos modelos anteriores, estudaram-se os coeficientes normalizados do modelo de modo a verificar quais as variáveis mais influenciáveis na variação do resultado do modelo. Porém, dado o erro normalizado elevado dos coeficientes das variáveis, esta identificação poderá ter erros associados.

A tabela seguinte identifica as variáveis mais influenciáveis do modelo.

Tabela 4.27-Variáveis mais influenciáveis no modelo.

| Variáveis | Coefficiente de normalização |
|---|-------------------------------------|
| Caudal volumétrico de carga no vácuo I | -572.66 |
| Caudal volumétrico do resíduo de vácuo no vácuo I | 261.68 |
| Caudal volumétrico de gasóleo de vácuo no vácuo I | 259.85 |
| Densidade do resíduo de vácuo I | 177.49 |
| Densidade do <i>slop wax</i> no vácuo I | -117.73 |
| Densidade da carga do vácuo II | 76.14 |
| Densidade de resíduo no vácuo II | -66.15 |
| Caudal volumétrico do <i>slop wax</i> no vácuo I | 57.74 |
| Rendimento do gasóleo ligeiro na destilação atmosférica | -42.53 |
| Densidade do gasóleo de vácuo ligeiro no vácuo II | -36.86 |

Através da tabela 4.27, conclui-se que as variáveis mais influenciáveis são referentes à destilação de vácuo I e II dado que estas sofrem uma maior modificação com a alteração dos programas de fabrico.

Adicionalmente procedeu-se à eliminação de variáveis não significativas de modo a diminuir o erro normalizado dos coeficientes das variáveis. Após essa eliminação, foram representadas, através da seguinte tabela, as variáveis mais influenciáveis do modelo.

Tabela 4.28-Variáveis mais influenciáveis no modelo.

| Variáveis | Coefficiente de normalização |
|---|-------------------------------------|
| Densidade da carga do vácuo I | 135.64 |
| Densidade do resíduo de vácuo no vácuo I | -80.86 |
| Densidade de gasóleo de vácuo pesado no vácuo II | 64.33 |
| Densidade do gasóleo de vácuo no vácuo I | -62.54 |
| Densidade do gasóleo de vácuo ligeiro no vácuo II | -55.83 |
| Densidade de <i>Slop Wax</i> no vácuo I | 47.74 |
| Densidade de carga no vácuo II | -34.25 |
| Rendimento do gasóleo de vácuo no vácuo I | -28.46 |
| Rendimento do resíduo de vácuo no vácuo I | -27.70 |
| Caudal volumétrico da carga do vácuo I | 17.11 |

Apesar dos coeficientes normalizados terem sofrido uma variação considerável nos seus valores, as variáveis mais influenciáveis mantêm-se relacionadas com a destilação de vácuo I e II dado que estas sofrem uma maior modificação com a alteração dos programas de fabrico.

Concluindo o terceiro objetivo, verifica-se que a partir dos modelos constituídos pelas variáveis dos programas de fabrico consegue-se reproduzir cerca de 85 a 90% da variação total do EIITM, sendo a restante variação representada por eventos extraordinários, como por exemplo, a manutenção de equipamentos, adicionalmente concluiu-se que as variáveis relacionadas, com a destilação de vácuo I e II, são as que mais influenciam a variação do resultado dos modelos obtidos.

Capítulo 5-Conclusões

Esta dissertação teve como objetivos principais: a alteração da atitude do aparelho refinador e a consequente otimização do mesmo a nível financeiro. Estes objetivos foram concretizados através da resposta às seguintes perguntas:

1. O consumo líquido das unidades é afectado pelo tipo de programa de fabrico? (Sweet vs Sour);
2. Quais as variáveis que mais influenciam o EIITM;
3. Pode-se antecipar/prever o valor do EIITM com base nas variáveis dos programas de fabrico?

Através da utilização de diversos métodos estatísticos da ferramenta R e do estudo de 17 unidades processuais foi concluído que:

1. Apesar do tipo de programa de fabrico influenciar as unidades VV e VB, esta influência deve-se à elevada variabilidade dos consumos líquidos para quantidades de carga semelhantes, deste modo conclui-se que o consumo líquido das unidades normalmente não é afectado pelo tipo de programa de fabrico;
2. As variáveis que mais influenciam o EIITM estão relacionadas com o consumo de utilidades e os regimes de operação da AL, da destilação atmosférica, da HR, da HT e do HC, sendo as principais:
 - Produção de hidrogénio puro da HR;
 - Tail gás da PSA do HR para queima;
 - Água de alimentação da caldeira BR2;
 - Água de alimentação da caldeira BR1;
 - Consumo de fuel gás da fábrica III;
 - Carga da unidade HC;
 - Temperatura da nafta pesada no fundo do side stripper HC-V-04.
3. A partir dos modelos constituídos pelas variáveis dos programas de fabrico consegue prever-se o valor do EIITM, dado que o modelo não é overfitted e reproduz cerca de 85 a 90% da variação total do EIITM, sendo a restante variação representada por eventos extraordinários, como por exemplo a manutenção de equipamentos.

Adicionalmente obteve-se as seguintes conclusões secundárias:

1. Apesar da temperatura ambiente influenciar consumos e produções de utilidades concretas, esta não afecta os consumos líquidos das unidades processuais de forma significativa.
2. O efeito de *fouling* em algumas unidades processuais, como por exemplo na destilação atmosférica e no HC, causa um aumento significativo quanto ao consumo de fuel gás e contribuem de forma significativa para o valor do EIITM.
3. O modelo mais adequado para analisar e calcular a variação do consumo líquido da unidade é um modelo linear que não diferencie o tipo de programa de fabrico, em que o preditor é normalmente a quantidade de carga, o hidrogénio produzido ou o enxofre produzido, dependendo da unidade processual em estudo.
4. Os modelos actualmente estabelecidos pela refinaria têm, em alguns casos, como é o caso da alquilação, diferenças significativas entre o valor calculado e o real, pelo que é necessária uma atualização dos modelos da refinaria.
5. A distinção do tipo de programa de fabrico utilizado representa uma diferença de 2 pontos de EIITM, quando consideradas as condições de operação médias.
6. A partir dos modelos constituídos pelas variáveis dos programas de fabrico, identificaram-se as variáveis relacionadas com a destilação de vácuo I e II como sendo as mais influenciáveis quanto ao EIITM.

Em suma, esta dissertação permitiu desenvolver modelos estatísticos que revelaram padrões latentes no enorme manancial de dados disponíveis, e que ajudam a compreender melhor que variáveis influenciam e em que medida o EII™. Mas tão importante como compreender esses efeitos é poder prevêê-los de forma antecipada, de forma a poder influenciá-los no sentido pretendido, evoluindo assim de uma atitude reativa para uma atitude proativa na gestão energética da refinaria.

Referências

- [1] Galp Energia- **Origens e história** [Em linha], 27 de Maio de 2017. [Consult. 27 de Maio de 2017]. Disponível em: <http://www.galpennergia.com/PT/agalpennergia/ogrupa/origensehistoria/Paginas/Historia.aspx>.
- [2] Galp Energia- **Sector de Refinação em Portugal e na UE** [Em linha], 12 de Outubro de 2012. [Consult. 27 de Maio de 2017]. Disponível em: http://www.gracacarvalho.eu/xms/files/ACTIVIDADE_PARLAMENTAR/OUTRAS_ACTIVIDADES/2012/10_02-10-2012_GALP/Galp_Desafios_Refinacao_UE_PT_2Out12Final.pdf.
- [3] Galp Energia- **Avanços na Exploração & Produção**, my galp, 27 de Abril de 2017.
- [4] HSB Solomon Associates LLC- **2012 Fuels Study Methodology**, em: Galp Energia (Ed.), 2013, pp. 84.
- [5] Eurostat- **Natural gas price statistics** [Em linha], 27 de Maio de 2017. [Consult. 27 de Maio de 2017].
- [6] HSB Solomon Associates LLC- **2012 Fuels Study Methodology**, em: Galp Energia (Ed.), 2013, pp. 34.
- [7] HSB Solomon Associates LLC- **2012 Fuels Study Methodology**, em: Galp Energia (Ed.), 2013, pp. 15.
- [8] Galp Energia- **Projeto de conversão das refinarias**. [Em linha], 27 de Maio de 2017. [Consult. 27 de Maio de 2017]. Disponível em: <http://www.galpennergia.com/PT/investidor/ConhecerGalpEnergia/Os-nossos-negocios/Refinacao-Distribuicao/ARL/Refinacao/Conversao-refinarias/Paginas/Projecto-de-conversao-refinarias-Portugal.aspx>.
- [9] **Nelson complexity index** [Em linha], 24 de Dezembro de 2016. [Consult. 27 de Maio de 2017]. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Nelson_complexity_index.
- [10] Galp Energia- **Refinaria de Sines** [Em linha], 27 de Maio de 2017. [Consult. 27 de Maio de 2017]. Disponível em: <http://www.galpennergia.com/PT/agalpennergia/os-nossos-negocios/Refinacao-Distribuicao/ARL/Refinacao/RefinariaSines/Paginas/Refinaria-de-Sines.aspx>.
- [11] Sandra Ribeiro- **Investimento de 1400 milhões de euros maximizou produção de gasóleo na refinaria**. Público, 8 de Junho de 2014, pp. Disponível em: <https://www.publico.pt/2014/06/08/economia/noticia/-estamos-apetrechados-para-competir-com-as-melhores-do-mundo-1639114#&gid=1&pid=1>.
- [12] Marta Henriques- **MANUAL INTRODUTÓRIO DA UNIDADE DE DESTILAÇÃO ATMOSFÉRICA**, 5 de Dezembro de 2009, pp. 5.
- [13] Marta Henriques- **MANUAL INTRODUTÓRIO DA UNIDADE DE DESTILAÇÃO ATMOSFÉRICA**, 5 de Dezembro de 2009, pp. 33.
- [14] Galp Energia- **MANUAL INTRODUTÓRIO DA UNIDADE DE DESTILAÇÃO DE VÁCUO**, pp. 4.

- [15] Galp Energia- **MANUAL INTRODUTÓRIO DA UNIDADE DE DESTILAÇÃO SOB VÁCUO**, pp. 3.
- [16] Galp Energia- **MANUAL INTRODUTÓRIO DA UNIDADE DE VISBREAKER**, pp. 13.
- [17] Paulo Santos- **MANUAL INTRODUTÓRIO DA UNIDADE DE HYDROBON DE GASÓLEO ATMOSFÉRICO**, 28 de Setembro de 2006, pp. 5.
- [18] Galp Energia- **MANUAL DE OPERAÇÃO DA UNIDADE DE DESSULFURAÇÃO DE GASÓLEO (HG)**, 19 de Junho de 2011, pp. 7.
- [19] Galp Energia- **MANUAL INTRODUTÓRIO DA UNIDADE DE PLATFORMING**, pp. 5.
- [20] Galp Energia- **MANUAL INTRODUTÓRIO DA UNIDADE DE ALQUILAÇÃO**, pp. 3.
- [21] Galp Energia- **MANUAL INTRODUTÓRIO DA UNIDADE DE ALQUILAÇÃO**, pp. 64.
- [22] Galp Energia- **MANUAL INTRODUTÓRIO DA UNIDADE DE FCC**, pp. 5.
- [23] Galp Energia- **MANUAL INTRODUTÓRIO DA UNIDADE DE DESSULFURAÇÃO DE GASOLINA**, pp. 3.
- [24] Ian H.Witten, Mark A. Hall, Eibe Frank -,**Data mining : practical machine learning tools and techniques.**, em: ELSEVIER (Ed.)2011, pp. 4-5
- [25] **Data Mining Applications** [Em linha], 2017. [Consult. 20 de Abril de 2017]. Disponível em: https://www.tutorialspoint.com/data_mining/dm_applications_trends.htm.
- [26] Pedro Chévez, Dante Barbero, Irene Martini, Carlos Discoli- **Application of the k-means clustering method for the detection and analysis of areas of homogeneous residential electricity consumption at the Great La Plata region, Buenos Aires, Argentina.** ELSEVIER, 2017, pp. 1-15.
- [27] Ian H.Witten, Eibe Frank, Mark A. Hall- **Data mining : practical machine learning tools and techniques.**, em: ELSEVIER (Ed.)2011, pp. 40-44
- [28] Michael C.Thomas, Wenbo Zhu, Jose A.Romagnoli- **Data mining and clustering in chemical process databases for monitoring and knowledge discovery.** ELSEVIER, 2017, pp. 1-16.
- [29] Claude Sammut, Geoffrey I.Webb- **Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining**, 2017, pp. 48.
- [30] Charu C.Aggarwal- **Data Mining: The Textbook**, em: Springer (Ed.)2015, pp. 153-201
- [31] Max Bramer- **Principles of Data Mining**, em: Springer (Ed.)2016, pp. 311-328
- [32] Badih Ghattas, Piere Michel, Laurent Boyer- **Clustering nominal data using unsupervised binary decision trees: Comparisons with the state of the art methods.** ELSEVIER, 2017, pp. 1-9.

- [33] Jinyan Li, Xue Li, Shualiang Wang, Jianxin Li, Quan Z.Sheng- **Advanced Data Mining and Applications**, em: Springer (Ed.), Australia, 2016, pp. 113-114.
- [34] Claude Sammut, Geoffrey I.Webb- **Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining**, 2017, pp. 322-323.
- [35] Charu C.Aggarwal- **Data Mining: The Textbook**, em: Springer (Ed.)2015, pp. 17-18
- [36] **R and Data Mining - Examples and Case Studies**, 2016, pp. 63-73
- [37] Michael C.Thomas, Wenbo Zhu, Jose A.Romagnoli- **Data mining and clustering in chemical process databases for monitoring and knowledge discovery**. ELSEVIER, 2017, pp. 3-6.
- [38] Rasmus Bro, Age K.Smilde- **Principal component analysis**. Royal society of chemistry, 2014, pp. 1-20.
- [39] Hervé Abdi, Lynne J.Williams- **Principal component analysis**. 2010, pp. 1-27.
- [40] Jon Shlens- **A TUTORIAL ON PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS**. 2003, pp. 1-16.
- [41] Michael C.Thomas, Wenbo Zhu, Jose A.Romagnoli- **Data mining and clustering in chemical process databases for monitoring and knowledge discovery**. ELSEVIER, 2017, pp. 3-4.
- [42] **Principal component analysis** [Em linha], 2017. [Consult. 10 de Junho de 2017]. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Principal_component_analysis.
- [43] Victor Powell, Lewis Lehe- **Principal Component Analysis** [Em linha], 2014. [Consult. 10 de Junho de 2017]. Disponível em: <http://setosa.io/ev/principal-component-analysis/>.
- [44] Michael C.Thomas, Wenbo Zhu, Jose A.Romagnoli- **Data mining and clustering in chemical process databases for monitoring and knowledge discovery**. ELSEVIER, 2017, pp. 4.
- [45] Pierre Comon- **Independent Component Analysis, a new concept?** [Em linha], 2015. [Consult. 10 de Junho de 2017]. Disponível em: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00417283/document>.
- [46] A. Hyvärinen, E. Oja- **Independent component analysis: algorithms and applications**. Neural Networks, 13, 2000, pp. 411-430. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0893608000000265>.
- [47] V.F. Calhoun, T.Adali, G.D. Pearson, J.J.Pekar- **A Method for Making Group Inferences from Functional MRI Data Using Independent Component Analysis**, 2001, pp. 140-151.Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/c13e/de8a8e231988140b748d659bb4a0e115fc8e.pdf>.
- [48] Michael C.Thomas, Wenbo Zhu, Jose A.Romagnoli- **Data mining and clustering in chemical process databases for monitoring and knowledge discovery**. ELSEVIER, 2017, pp. 6-10.

- [49] Michael C.Thomas, Wenbo Zhu, Jose A.Romagnoli- **Data mining and clustering in chemical process databases for monitoring and knowledge discovery**. ELSEVIER, 2017, pp. 6-7.
- [50] Charu C.Aggarwal- **Data Mining: The Textbook**, em: Springer (Ed.)2015, pp. 162-165
- [51] Claude Sammut, Geoffrey I.Webb- **Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining**, 2017, pp. 693-697.
- [52] Max Bramer- **Principles of Data Mining**, em: Springer (Ed.)2016, pp. 312-320
- [53] Michael C.Thomas, Wenbo Zhu, Jose A.Romagnoli- **Data mining and clustering in chemical process databases for monitoring and knowledge discovery**. ELSEVIER, 2017, pp. 7-8.
- [54] Charu C.Aggarwal- **Data Mining: The Textbook**, em: Springer (Ed.)2015, pp. 181-184
- [55] Claude Sammut, Geoffrey I.Webb- **Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining**, 2017, pp. 350-353.
- [56] Direcção Técnica de refinação- **Representação dos consumos energéticos da refinaria de Sines.**, 2010, pp. 1-26.
- [57] Direcção Técnica de refinação- **Representação dos consumos energéticos da refinaria de Sines.**, 2010, pp. 3.
- [58] Douglas C.Montgomery, George C.Runger- **APPLIED STATISTICS AND PROBABILITY FOR ENGINEERS**, 1994, pp. 475
- [59] Douglas C.Montgomery, George C.Runger- **APPLIED STATISTICS AND PROBABILITY FOR ENGINEERS**, 1994, pp. 476
- [60] Douglas C.Montgomery, George C.Runger- **APPLIED STATISTICS AND PROBABILITY FOR ENGINEERS**, 1994, pp. 477
- [61] Douglas C.Montgomery, George C.Runger- **APPLIED STATISTICS AND PROBABILITY FOR ENGINEERS**, 1994, pp. 488
- [62] Douglas C.Montgomery, George C.Runger- **APPLIED STATISTICS AND PROBABILITY FOR ENGINEERS**, 1994, pp. 489
- [63] Douglas C.Montgomery, George C.Runger- **APPLIED STATISTICS AND PROBABILITY FOR ENGINEERS**, 1994, pp. 491
- [64] TI Samples- **Comparing Correlation Coefficients, Slopes, and Intercepts** [Em linha], 2016. [Consult. 30 de Maio de 2017]. Disponível em: <http://core.ecu.edu/psyc/wuenschk/docs30/CompareCorrCoeff.pdf>.
- [65] Jim Frost- **How to identify the Most Important Predictor Variables in Regression Models** [Em linha], 2016. [Consult. 10 de Junho de 2017]. Disponível em: <http://blog.minitab.com/blog/adventures-in-statistics-2/how-to-identify-the-most-important-predictor-variables-in-regression-models>.
- [66] Douglas C.Montgomery, George C.Runger- **APPLIED STATISTICS AND PROBABILITY FOR ENGINEERS**, 1994, pp. 559

- [67] Douglas C.Montgomery, George C.Runger- **APPLIED STATISTICS AND PROBABILITY FOR ENGINEERS**, 1994, pp. 554
- [68] Douglas C.Montgomery, George C.Runger- **APPLIED STATISTICS AND PROBABILITY FOR ENGINEERS**, 1994, pp. 571
- [69] Douglas C.Montgomery, George C.Runger- **APPLIED STATISTICS AND PROBABILITY FOR ENGINEERS**, 1994, pp. 610
- [70] Jim Frost- **The Danger of Overfitting Regression Models** [Em linha], 2015. [Consult. 10 de Junho de 2017]. Disponível em: <http://blog.minitab.com/blog/adventures-in-statistics-2/the-danger-of-overfitting-regression-models>.
- [71] Thomas Hill, Pawel Lewicki- **Statistics: Methods and Applications : a Comprehensive Reference for Science, Industry and Data Mining**, em: StatSoft (Ed.)2006, pp. 86
- [72] Brian D.Ripley- **Pattern recognition and neural networks**, 1996, pp. 354
- [73] Tomas Borovicka, Marcel Jirina Jr, Pavel Kordik, Marcel Jirina- **Selecting Representative Data Sets**, em: Adem Karahoca (Ed.) Advances in Data Mining Knowledge Discovery and Applications, InTech. Rijeka, 2012, pp. Ch. 02.Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/50787>.
- [74] **Test set** [Em linha], 2017. [Consult. 10 de Junho de 2017]. Disponível em: https://en.wikipedia.org/wiki/Test_set#training_set.
- [75] **Comparing Different Species of Cross-Validation** [Em linha], 2014. [Consult. 20 de Junho de 2017]. Disponível em: <http://appliedpredictivemodeling.com/blog/2014/11/27/vpuig01pqbklni72b8lcl3ij5hj2qm>.
- [76] Jeff Schneider- **Cross Validation** [Em linha], 1997. [Consult. 15 de Junho de 2017]. Disponível em: <https://www.cs.cmu.edu/~schneide/tut5/node42.html>.
- [77] Jianglin Huang, Jacky Wai Keung, Federica Sarro, Yan-Fu Li, Y. T. Yu, W. K. Chan, Hongyi Sun- **Cross-validation based K nearest neighbor imputation for software quality datasets: An empirical study**. Journal of Systems and Software, 132, 2017, pp. 226-252. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164121217301516>.
- [78] Z.Reitermanová- **Data Splitting**, 2010. Disponível em: https://www.mff.cuni.cz/veda/konference/wds/proc/pdf10/WDS10_105_i1_Reitermanova.pdf.
- [79] Désirée Baumann, Knut Baumann- **Reliable estimation of prediction errors for QSAR models under model uncertainty using double cross-validation**. Journal of Cheminformatics, 6, 2014, pp. 47. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4260165/>.
- [80] Herbert Pang, Sin-Ho Jung- **Sample Size Considerations of Prediction-Validation Methods in High-Dimensional Data for Survival Outcomes**. Genetic epidemiology, 37, 2013, pp. 276-282. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3763900/>.
- [81] Marta Henriques- **MANUAL INTRODUTÓRIO DA UNIDADE DE DESTILAÇÃO ATMOSFÉRICA**, 5 de Dezembro de 2009, pp. 27-32.
- [82] Galp Energia- **MANUAL INTRODUTÓRIO DA UNIDADE DE DESTILAÇÃO DE VÁCUO**, pp. 12-13.

[83] Galp Energia- **MANUAL INTRODUTÓRIO DA UNIDADE DE DESTILAÇÃO SOB VÁCUO**, pp. 15-31.

[84] Galp Energia- **MANUAL INTRODUTÓRIO DA UNIDADE DE VISBREAKER**, pp. 13-45.

[85] Paulo Santos- **MANUAL INTRODUTÓRIO DA UNIDADE DE HYDROBON DE GASÓLEO ATMOSFÉRICO**, 28 de Setembro de 2006, pp. 17-19.

[86] Galp Energia- **MANUAL INTRODUTÓRIO DA UNIDADE DE PLATFORMING**, pp. 25-28.

[87] Galp Energia- **MANUAL INTRODUTÓRIO DA UNIDADE DE ALQUILAÇÃO**, pp. 13-16.

[88] Galp Energia- **MANUAL INTRODUTÓRIO DA UNIDADE DE FCC**, pp. 35-106.

[89] Galp Energia- **MANUAL INTRODUTÓRIO DA UNIDADE DE DESSULFURAÇÃO DE GASOLINA**, pp. 35-36.

Anexos

Anexo A- Listas de equipamentos

Ao longo deste anexo, são listados os equipamentos principais das unidades em estudo, à exceção da desisobutanizadora e os recuperadores de enxofre.

Tabela A.1-Identificação de equipamentos da destilação atmosférica.[81]

| Abreviações | Equipamento |
|-------------|--|
| CC-C1 | Turbina do topo da CC-V1 |
| CC-C2A | Turbina de reserva do CC-C2B |
| CC-C2B | Turbina de ar nos CC-H1A/B |
| CC-C3 | Ventilador dos gases de queima do CC-H1A/B |
| CC-E10 | Permutador a ar do gasóleo pesado |
| CC-E11 | Revaporizador do stripper CC-V3 |
| CC-E12 | Arrefecedor a ar do gasóleo pesado armazenagem |
| CC-E13 | Arrefecedor a ar de petróleo armazenagem |
| CC-E14 | Arrefecedor a ar dos dessalinizadores |
| CC-E15A | Arrefecedor de resíduo atmosférico ramal A |
| CC-E15B | Arrefecedor de resíduo atmosférico ramal B |
| CC-E1A | Permutador Gasolina SR circulação /crude |
| CC-E1B | Permutador Gasolina SR circulação /crude |
| CC-E2 | Permutador crude/ gasóleo pesado circulação |
| CC-E25A | Gerador de vapor de 3,5 bar |
| CC-E25B | Gerador de vapor de 3,5 bar |
| CC-E26A | Aquecedor de água para geradores CC-E25A |
| CC-E26B | Aquecedor de água para geradores CC-E25B |
| CC-E3 | Permutador crude/petróleo |
| CC-E48 | Arrefecedor do crude |
| CC-E49A | Reboiler a vapor da CC-V22 |
| CC-E49B | Reboiler a vapor da CC-V22 |
| CC-E4A | Permutador crude/gasóleo ligeiro circulação |
| CC-E4B | Permutador crude/ gasóleo ligeiro circulação |
| CC-E52 | Pré-aquecedor de ar de combustão dos fornos |
| CC-E5A | Permutador crude/gasóleo ligeiro armazenagem |
| CC-E5B | Permutador crude/gasóleo ligeiro armazenagem |
| CC-E6A | Permutador crude/ gasóleo pesado armazenagem |
| CC-E6B | Permutador crude/ gasóleo pesado armazenagem |
| CC-E7A | Permutador crude/resíduo atmosférico |
| CC-E7B | Permutador crude/resíduo atmosférico |
| CC-E8A | Permutador resíduo/crude |
| CC-E8B | Permutador resíduo/crude |
| CC-E9 | Condensador a ar de topo da CC-V1 |
| CC-EM1A | Bomba de Agitação do fosfato trissódico |
| CC-EM1B | Bomba de injeção do fosfato trissódico para CC-E25A/B,CC-E20 e ST-V1 |
| CC-H1A | Revaporizador do crude ramal A |

| | |
|---------|--|
| CC-H1B | Revaporizador do crude ramal B |
| CC-P10A | Bomba da carga de Gasolina SR ao CC-V13 |
| CC-P10B | Bomba de reserva da CC-P10A |
| CC-P11A | Bomba da água da bota do acumulador de topo CC-V5 |
| CC-P11B | Bomba de reserva da CC-P11A |
| CC-P12A | Bomba da água para os dessalinizadores |
| CC-P12B | Bomba de reserva da CC-P12A |
| CC-P1A | Bomba da carga da unidade ramal B |
| CC-P1B | Bomba de reserva da CC-P1A e CC-P1B |
| CC-P1C | Bomba da carga da unidade ramal A |
| CC-P2A | Bomba da coluna de pré-flash – carga CC-H1A |
| CC-P2B | Bomba da coluna de pré-flash - carga CC-H1B |
| CC-P2C | Bomba de reserva das CC-P2 A/B |
| CC-P31 | Bomba de injeção do inibidor de corrosão na CC-V1 (na unidade de Fracc.) |
| CC-P32A | Bomba de refluxo frio da CC-V1 |
| CC-P32B | Bomba de reserva da CC-P32A |
| CC-P34A | Turbina de reserva da CC-P34B |
| CC-P34B | Turbina de Lubrificação do CC-C1 |
| CC-P37A | Bomba de Injeção de desmulsificante-ramal A |
| CC-P37B | Bomba de injeção de desmulsificante-ramal B |
| CC-P38A | Bomba de injeção de anti-fouling ramal-A |
| CC-P38B | Bomba de injeção de Anti-fouling ramal B |
| CC-P39A | Bomba de injeção local do neutralizante na CC-V1 |
| CC-P39B | Bomba de injeção no TDC do neutralizante na CC-V1 |
| CC-P3A | Bomba do resíduo atmosférico-ramal A |
| CC-P3B | Bomba de reserva das CC-P3 A/B |
| CC-P3C | Bomba do resíduo atmosférico-ramal B |
| CC-P4 | Bomba de circulação de gasóleo pesado |
| CC-P5 | Bomba de armazenagem de gasóleo pesado |
| CC-P6A | Bomba de circulação de gasóleo ligeiro |
| CC-P6B | Bomba de reserva das CC-P4 e CC-P6A |
| CC-P7A | Bomba de armazenagem de gasóleo ligeiro |
| CC-P7B | Bomba de reserva das CC-P5 e CC-P7A |
| CC-P8A | Bomba de armazenagem de petróleo/Merox de Petróleo |
| CC-P8B | Bomba de reserva da CC-P8A |
| CC-P9A | Bomba de circulação de gasolina SR |
| CC-P9B | Bomba de reserva da CC-P9A |
| CC-V1 | Coluna de destilação atmosférica |
| CC-V11 | Acumulador de Blow Down do CC-E25A/B |
| CC-V2 | Stripper de gasóleo pesado |
| CC-V26A | Dessalinizador: Ramal A |
| CC-V26B | Dessalinizador: Ramal B |
| CC-V3 | Stripper de gasóleo ligeiro |

| | |
|--------|---|
| CC-V4 | Stripper de petróleo |
| CC-V5 | Acumulador topo da CC-V1 |
| CC-V6 | Coluna de pré-flash |
| CC-V7 | Acumulador de água dos Dessalinizadores |
| CC-V8 | Tanque do inibidor de corrosão |
| MK-P6 | Bomba de injeção de soda cáustica no crude (na unidade Merox de Petróleo) |
| OP-P1A | Booster de crude da CC-P1A/B/C |
| OP-P1B | Bomba de Reserva da OP-P5 |
| OP-P2 | Bomba de reserva da OP-P3 |
| OP-P3 | Booster de crude da CC-P1A/B/C |
| OP-P4 | Bomba de reserva da OP-P5 |
| OP-P5 | Booster de crude CC-P1A/B/C |

Tabela A.2-Identificação de equipamentos na destilação de vácuo I.[82]

| Abreviações | Equipamento |
|-------------|--|
| CC-E16 | Permutador gasóleo vácuo ligeiro/carga unidade |
| CC-E17 | Permutador carga unidade/resíduo de vácuo |
| CC-E18 | Arrefecedor do pitch |
| CC-E19 | Permutador água gerador /pitch |
| CC-E20 | Gerador de vapor |
| CC-E21 | Arrefecedor de gasóleo vácuo pesado |
| CC-E22 | Arrefecedor a ar de gasóleo de vácuo ligeiro |
| CC-E23 | Arrefecedor do refluxo de topo LVGO |
| CC-H2 | Forno da destilação de vácuo I |
| CC-J1 | Ejectores |
| CC-P13A | Bomba da carga da Unidade |
| CC-P13B | Bomba de reserva da CC-P13A |
| CC-P13C | Bomba de reserva da CC-P13A/B |
| CC-P14A | Turbina de resíduo de Vácuo |
| CC-P14B | Turbina de reserva da CC-P14A |
| CC-P15A | Bomba de Slop-Wax |
| CC-P15B | Bomba de reserva da CC-P15A |
| CC-P16A | Bomba de gasóleo de vácuo pesado |
| CC-P16B | Bomba de reserva da CC-P16A |
| CC-P17A | Bomba de gasóleo de vácuo Ligeiro |
| CC-P17B | Bomba de reserva da CC-P17A |
| CC-P18A | Turbina dos ejectores |
| CC-P18B | Turbina de reserva da CC-P18A |
| CC-P19 | Bomba de condensado dos ejectores |
| CC-P30 | Bomba de lavagem e teste de circuitos |
| CC-V10 | Acumulador de Blow-Down dos CC-E20 |
| CC-V12 | Acumulador de condensado dos ejectores |
| CC-V9 | Coluna de destilação de vácuo I |

Tabela A.3-Identificação de equipamentos na destilação de vácuo II.[83]

| Abreviações | Equipamento |
|--------------------|--|
| VV-E1 | Permutador de resíduo de vácuo |
| VV-E10 | Permutador de Efluente do 2º ejetor |
| VV-E11 | Permutador de água ácida |
| VV-E12 | Permutador de resíduo atmosférico |
| VV-E13 | Permutador de LVGO |
| VV-E2 | Permutador de resíduo atmosférico |
| VV-E3 | Permutador de HVGO |
| VV-E4 | Gerador de vapor |
| VV-E5 | Permutador de resíduo atmosférico |
| VV-E6 | Permutador de HVGO |
| VV-E7 | Aeroarrefecedor do destilado |
| VV-E9 | Permutador de Efluente do 1º ejetor |
| VV-F1 | Filtro de wash-oil |
| VV-H1 | Forno |
| VV-J1 | Ejetor primário do sistema de vácuo |
| VV-J2 | Ejetor secundário do sistema de vácuo |
| VV-P1 | Bomba de resíduo vácuo fundo |
| VV-P2 | Bomba de wash-oil |
| VV-P3 | Bomba de HVGO |
| VV-P4 | Bomba de LVGO |
| VV-P5 | Bomba de destilado |
| VV-P6 | Bomba de água ácida |
| VV-P7 | Bomba de fase oleosa do VV-V-6 |
| VV-P8 | Bomba de vácuo |
| VV-S1 | Retentor de chama dos gases de incineração |
| VV-V1 | Coluna de Vácuo II |
| VV-V2 | Acumulador de wash-oil |
| VV-V3 | Acumulador de HVGO |
| VV-V4 | Acumulador de LVGO |
| VV-V5 | Acumulador de destilado |
| VV-V6 | Primeiro acumulador de topo |

| | |
|-------|----------------------------|
| VV-V7 | Segundo acumulador de topo |
| VV-V8 | Balão de selagem |

Tabela A.4-Identificação de equipamentos no visbreaker.[84]

| Abreviações | Equipamento |
|-------------|---|
| VB-E1 | Permutador de resíduo visbreaker |
| VB-E14 | Aeroarrefecedor de água temperada |
| VB-E15 | Permutador de BFW |
| VB-E16 | Permutador de Blow-Down |
| VB-E2 | Permutador de resíduo visbreaker |
| VB-E3 | Permutador de resíduo visbreaker |
| VB-E4 | Permutador de resíduo visbreaker |
| VB-E5 | Permutador de gasóleo de visbreaker |
| VB-E6 | Aeroarrefecedor de gasóleo |
| VB-E7 | Aeroarrefecedor/condensador topo fraccionador |
| VB-E8 | Aeroarrefecedor/condensador topo fraccionador |
| VB-F1 | Filtro de circuito fundo do fraccionador |
| VB-F2 | Filtro resíduo de visbreaker |
| VB-H1 | Forno de visbreaker |
| VB-P1 | Bomba de resíduo de vácuo |
| VB-P14 | Bomba de solução aquosa de amónia |
| VB-P15 | Bomba do inibidor de corrosão |
| VB-P16 | Bomba de circulação de água temperada |
| VB-P2 | Bomba de resíduo de visbreaker |
| VB-P3 | Bomba de injeção de água temperada |
| VB-P4 | Bomba de refluxo ao fraccionador |
| VB-P5 | Bomba de gasóleo |
| VB-P6 | Bomba de refluxo ao fraccionador |
| VB-P7 | Bomba de circulação de água processual |
| VB-P8 | Bomba de circulação de água ácida |
| VB-P9 | Bomba de transferência de água ácida |
| VB-S1 | Misturador de cutterstocks no resíduo de visbreaker |

| | |
|--------|--|
| VB-S2 | Dessobreaquecedor de vapor |
| VB-S4 | Dessobreaquecedor de vapor |
| VB-S5 | Retentor de chama do VB-V-15 |
| VB-S6 | Silenciador de vapor |
| VB-S7 | Silenciador de vapor |
| VB-V1 | Soaker |
| VB-V10 | Acumulador de vapor |
| VB-V11 | Balão de descoqueificação dos fornos de vácuo e visbreaker |
| VB-V12 | Acumulador de vapor sistema de emergência do forno |
| VB-V13 | Acumulador de BFW para injeção nas serpentinas do forno |
| VB-V14 | Acumulador de solução aquosa de amónia |
| VB-V15 | Acumulador de inibidor de corrosão |
| VB-V16 | Acumulador de água temperada |
| VB-V19 | Acumulador atmosférico de blow-down |
| VB-V2 | Coluna fraccionadora |
| VB-V3 | Stripper de gasóleo |
| VB-V4 | Acumulador de refluxo ao fraccionador |
| VB-V5 | Acumulador de produto fraccionado |
| VB-V8 | Acumulador de vapor |
| VB-V9 | Acumulador de blow-down |

Tabela A.5-Identificação de equipamentos no hydrobon de destilados.[85]

| Abreviações | Equipamento |
|-------------|---|
| HD-C1A | Compressor de hidrogénio de reciclo e make-Up |
| HD-C1B | Compressor de hidrogénio de reciclo e make-Up |
| HD-C1C | Compressor de hidrogénio de reciclo e make-Up |
| HD-E10 | Permutador de baixa pressão |
| HD-E1A | Permutador de cargas combinadas |
| HD-E1B | Permutador de cargas combinadas |
| HD-E2 | Permutador de cargas do revaporizador de alta pressão |
| HD-E3 | Aquecedor a vapor de carga do revaporizador de alta pressão |
| HD-E4 | Permutador de carga do revaporizador de baixa pressão |

| | |
|--------|--|
| HD-E6A | Condensador a ar do efluente do reactor |
| HD-E6B | Condensador a ar do efluente do reactor |
| HD-E7 | Condensador a ar do revaporizador de alta pressão |
| HD-E8 | Condensador a ar do revaporizador de baixa pressão |
| HD-E9 | Arrefecedor a ar de gasóleo tratado |
| HD-H1 | Forno do reactor HD-V1 |
| HD-H2 | Forno do revaporizador do HD-V6 |
| HD-P1 | Bomba da carga da unidade |
| HD-P2A | Bomba do produto de topo do revaporizador de alta pressão |
| HD-P2B | Bomba de reserva da HD-P2A |
| HD-P3A | Bomba de circulação de fundo do revaporizador de baixa pressão |
| HD-P3B | Bomba de reserva da HD-P3A |
| HD-P4A | Bomba da água topo do revaporizador de baixa pressão |
| HD-P4B | Bomba de reserva da HD-P4A |
| HD-P51 | Bomba da carga da unidade |
| HD-P5A | Bomba do refluxo e líquido de topo do revaporizador de baixa pressão |
| HD-P5B | Bomba de reserva da HD-P5A |
| HD-P6A | Bomba de slops dos filtros de carga do HD-V10 |
| HD-P6B | Bomba de reserva da HD-P6A |
| HD-P7A | Bomba auxiliar de carga |
| HD-P7B | Bomba de reserva da HD-P7A |
| HD-P9A | Bomba de circulação da água da HD-V9 |
| HD-P9B | Bomba de reserva da HD-P9A |
| HD-V1 | Reactor |
| HD-V2 | Separador de alta Pressão |
| HD-V3 | Balão de hidrogénio de make-Up |
| HD-V4 | Revaporizador de alta pressão |
| HD-V5 | Acumulador de topo do revaporizador de alta pressão |
| HD-V6 | Revaporizador de baixa pressão |
| HD-V7 | Acumulador de topo do revaporizador de baixa pressão |
| HD-V8 | Acumulador de carga da unidade |
| HD-V9 | Coluna de lavagem de gases com amina |

Tabela A.6-Identificação de equipamentos na dessulfuração de gasóleo pesado.

| Abreviações | Equipamento |
|-------------|--|
| HG-C1A/B | Compressor de gás de make-up |
| HG-C2 | Compressor de gás de reciclo |
| HG-E10 | Condensador a água do topo do secador |
| HG-E11 | Aero-arrefecedor do gasóleo dessulfurado |

| | |
|--------------|---|
| HG-E12 | Arrefecedor a água de gasóleo dessulfurado |
| HG-E13 | Condensador a água do 1º estágio do secador |
| HG-E14 | Condensador a água do 2º estágio do secador |
| HG-E16A/B | Aquecedor do óleo de lubrificação do HG-C1A/B |
| HG-E17A/B | Arrefecedor a água do óleo de lubrificação do HG-C2 |
| HG-E18 | Aquecedor do óleo de lubrificação do HG-C2 |
| HG-E1A/B/C/D | Permutador cargas combinadas carga reactor/efluente reactor |
| HG-E2 | Permutador cargas combinadas carga reactor/efluente reactor |
| HG-E25A/B | Arrefecedor a água do óleo de lubrificação do HG-C1A/B |
| HG-E3 | Permutador de carga do stripper |
| HG-E4 | Aero-arrefecedor do efluente do reactor |
| HG-E5 | Arrefecedor a água do efluente do reactor |
| HG-E6 | Aero-arrefecedor do spill-back do gás de make-up |
| HG-E7A/B/C | Permutador de cargas combinadas carga/fundo do stripper |
| HG-E8 | Aero-arrefecedor do topo do stripper |
| HG-E9 | Arrefecedor a água do topo do stripper |
| HG-F1 | Filtro da carga |
| HG-F2A/B | Filtro dos pilotos de fuel gás |
| HG-F3A/B/C/D | Filtro do óleo de lubrificação do HG-C1A/B |
| HG-F4A/B | Filtro do óleo de lubrificação do HG-C2 |
| HG-F5A/B | Filtro do gás de selagem do HG-C2 |
| HG-F6A/B | Filtro de azoto do HG-C2 |
| HG-F7A/B | Filtro do fuel gás para HG-H1 |
| HG-H1 | Forno do reactor |
| HG-J1 | Ejector do 1.º estágio do secador |
| HG-J2 | Ejector do 2.º estágio do secador |
| HG-J3 | Ejector de arranque |
| HG-J6 | Ejector do fosso do balão de slops |
| HG-P12 | Bomba de slops |
| HG-P13A/B | Bomba principal de óleo de lubrificação do HG-C1A/B |
| HG-P14A/B | Bomba de reserva de óleo de lubrificação do HG-C1A/B |
| HG-P15A/B | Bomba de óleo de lubrificação do HG-C2 |
| HG-P1A/B | Bomba de carga secção reacção |
| HG-P2A/B | Bomba de água de lavagem |
| HG-P3A/B | Bomba de refluxo do stripper |
| HG-P4A/B | Bomba de gasóleo dessulfurado |
| HG-P5A/B | Bomba de gasóleo do separador de topo do secador para reciclo |
| HG-P6A/B | Bomba de água do separador de topo do secador |
| HG-P7 | Bomba de anti-fouling |

| | |
|---------------|--|
| HG-P8 | Bomba de inibidor de corrosão |
| HG-P9A/B | Bomba de amina pobre |
| HG-S1 | Fosso da descoqueificação |
| HG-S2 | Fosso do balão de slops |
| HG-S3 | Silenciador para o ejetor de arranque HG-J3 |
| HG-S4A/B | Retentor de chama do pote de selagem do separador de topo do secador |
| HG-S5 | Misturador do tanque de anti-fouling HG-V16 |
| HG-S6 | Misturador do tanque de inibidor de corrosão HG-V17 |
| HG-V1 | Acumulador de carga |
| HG-V10 | Coalescedor |
| HG-V11 | Secador de gasóleo |
| HG-V12 | Separador de topo do secador |
| HG-V13 | Balão do absorvedor de amina |
| HG-V14 | Absorvedor de amina de alta pressão |
| HG-V15 | Balão de descoqueificação |
| HG-V16 | Tanque de anti-fouling |
| HG-V17 | Tanque de inibidor de corrosão |
| HG-V18 | Pote de selagem do separador de topo do secador |
| HG-V19 | Balão do condensado de média pressão |
| HG-V2 | Reactor |
| HG-V21 | Tanque de slops |
| HG-V22 | Balão do fuel gás para forno |
| HG-V24A/B | Balão amortecedor de vibrações aspiração do HG-C1A/B |
| HG-V25A/B/C/D | Balão amortecedor de vibrações compressão do HG-C1A/B |
| HG-V26 | Reservatório de óleo de lubrificação do HG-C2 |
| HG-V27 | Tanque de óleo de lubrificação rundown do HG-C2 |
| HG-V3 | Separador de alta pressão |
| HG-V4 | Balão do gás de reciclo |
| HG-V5 | Separador de baixa pressão |
| HG-V6 | Balão do gás de make-up |
| HG-V7 | Acumulador de água de lavagem |
| HG-V8 | Stripper |
| HG-V9 | Acumulador de topo do stripper |

Tabela A.7-Identificação de equipamentos na unidade de reformer catalítico.[86]

| Abreviações | Equipamento |
|-------------|--|
| PP-E1 | Permutador de cargas combinadas |
| PP-E10 | Permutador de carga do desbutanizador |
| PP-E11 | Arrefecedor a ar da gasolina platformada |
| PP-E12 | Arrefecedor da gasolina platformada |
| PP-E13 | Condensador a ar do desbutanizador |
| PP-E14 | Condensador de vapor da turbina PP-PC1 |

| | |
|----------|---|
| PP-E2 | Condensador a ar do efluente do reactor PP-V1 |
| PP-E3 | Permutador de carga do stripper |
| PP-E4 | Arrefecedor da nafta tratada p/armazenagem |
| PP-E5 | Condensador a ar do stripper |
| PP-E6A | Permutador de cargas combinadas do platforming |
| PP-E6B | Permutador de cargas combinadas do platforming |
| PP-E7 | Condensador a ar do efluente dos reactores do Platforming |
| PP-E8 | Arrefecedor do separador de baixa pressão. |
| PP-E9 | Arrefecedor do separador de alta pressão PP-V13 |
| PP-H1 | Forno do reactor de hydrobon |
| PP-H2 | Forno reboiler do stripper |
| PP-H3A | Forno do reactor número 1 do platforming |
| PP-H3B | Forno do reactor número 2 do platforming |
| PP-H3C | Forno do reactor número 3 do platforming |
| PP-H3D | Forno do reactor número 4 do platforming |
| PP-H4 | Forno do desbutanizador |
| PP-P10A | Bomba de refluxo e líquido de topo do desbutanizador |
| PP-P10B | Bomba de reserva da PP-P10A |
| PP-P11A | Turbina do PP-C1 |
| PP-P11B | Turbina de reserva da PP-P11A |
| PP-P12A | Bomba auxiliar da carga |
| PP-P12B | Bomba de reserva da PP-P12A |
| PP-P13 | Turbina |
| PP-P1A | Bomba da carga da unidade |
| PP-P1B | Bomba de reserva da PP-P1A |
| PP-P2 | Bomba da água de lavagem PP-E1 |
| PP-P3A | Turbina |
| PP-P3B | Turbina de reserva da PP-P3A |
| PP-P4A | Bomba de líquido topo e refluxo do stripper |
| PP-P4B | Bomba de reserva da PP-P4A |
| PP-P5 | Bomba do inibidor de corrosão do stripper |
| PP-P6 | Bomba de injeção de cloro e água PP-E6A/B |
| PP-P7 | Bomba do produto do separador de baixa pressão |
| PP-P8A | Bomba do produto do separador de alta pressão PP-V13 |
| PP-P8B | Bomba de reserva da PP-P8A e da PP-P7 |
| PP-P9A | Bomba de circulação do fundo do desbutanizador |
| PP-P9B | Bomba de reserva da PP-P9A |
| PP-PC1 | Compressor do gás de Reciclo |
| PP-PC2A | Compressor do hidrogénio do separador de alta pressão |
| PP-PC2B | Compressor do hidrogénio do separador de alta pressão |
| PP-PC2C | Compressor de reserva do PP-PC2A/B |
| PP-PC3 | Compressor de armazenagem de hidrogénio |
| PP-PTV3A | Bomba de circulação fundo do stripper PP-V8 |
| PP-V1 | Reactor hydrobon do platforming |
| PP-V10 | Tanque de injeção de água |

| | |
|--------|--|
| PP-V11 | Tanque de injeção de cloro |
| PP-V12 | Separador de baixa pressão |
| PP-V13 | Separador de alta pressão |
| PP-V14 | Desbutanizador |
| PP-V15 | Acumulador de topo do desbutanizador |
| PP-V16 | Acumulador de aspiração do PP-PC3 |
| PP-V17 | Acumulador de compressão do PP-PC3 |
| PP-V18 | Tanque do inibidor de corrosão do stripper |
| PP-V2 | Reactor número 1 do platforming |
| PP-V3 | Reactor número 2 do Platforming |
| PP-V4 | Reactor número 3 do Platforming |
| PP-V5 | Reactor número 4 do Platforming |
| PP-V6 | Separador do hydrobon |
| PP-V7 | Depósito de água de lavagem PP-E1 |
| PP-V8 | Stripper do hydrobon |
| PP-V9 | Receptor de topo do stripper |

Tabela A.8-Identificação de equipamentos no HI.

| Abreviações | Equipamento |
|-------------|-----------------------------|
| HI-A1A | Adsorber PSA |
| HI-A1B | Adsorber PSA |
| HI-A1C | Adsorber PSA |
| HI-A1D | Adsorber PSA |
| HI-A1E | Adsorber PSA |
| HI-A1F | Adsorber PSA |
| HI-A2A | Adsorber SMR PSA |
| HI-A2B | Adsorber SMR PSA |
| HI-A2C | Adsorber SMR PSA |
| HI-A2D | Adsorber SMR PSA |
| HI-A2E | Adsorber SMR PSA |
| HI-A2F | Adsorber SMR PSA |
| HI-A2G | Adsorber SMR PSA |
| HI-A2H | Adsorber SMR PSA |
| HI-A2I | Adsorber SMR PSA |
| HI-A2J | Adsorber SMR PSA |
| HI-C1 | Compressor |
| HI-CM1 | Compressor com ventiladores |
| HI-E1 | Permutador do reactor |
| HI-E10 | Permutador |
| HI-E11A | Permutador |
| HI-E11B | Permutador |
| HI-E12 | Permutador |
| HI-E14 | Aeroarrefecedor |
| HI-E15 | Aeroarrefecedor |
| HI-E17 | Permutador |
| HI-E18A | Permutador |
| HI-E18B | Permutador |
| HI-E2 | Permutador de vapor de alta |
| HI-E50 | Permutador de coluna |
| HI-EA | Permutador |

| | |
|---------|-----------------|
| HI-EB | Permutador |
| HI-F2A | Acumulador |
| HI-F2B | Acumulador |
| HI-F5A | Acumulador |
| HI-F5B | Acumulador |
| HI-H1 | Forno |
| HI-P100 | Bomba |
| HI-P101 | Bomba |
| HI-P1A | Bomba |
| HI-P1B | Bomba |
| HI-P2A | Bomba |
| HI-P2B | Bomba |
| HI-P5A | Bomba |
| HI-P5B | Bomba |
| HI-R1 | Reactor |
| HI-R2A | Reactor |
| HI-R2B | Reactor |
| HI-R3 | Reactor |
| HI-R4 | Reactor |
| HI-V1 | Coluna de amina |
| HI-V10 | Desaerizador |
| HI-V11 | Balão blow down |
| HI-V13 | Separador |
| HI-V17 | Separador |
| HI-V18 | Separador |
| HI-V2 | Coluna de amina |
| HI-V3 | Coluna-PSA |
| HI-V4 | Balão de nafta |
| HI-V5 | Separador |
| HI-V50 | Coluna de amina |
| HI-V6 | Separador |
| HI-V7 | Balão de K.O |
| HI-V8 | Coluna SMR PSA |
| HI-V9 | Balão de vapor |

Tabela A.9-Identificação de equipamentos na alquilação.[87]

| Abreviações | Equipamento |
|-------------|---|
| AL-E14 B | Arrefecedores de ácido |
| AL-E15 | Sobreaquecedor de ácido (vapor) |
| AL-E16 | Sobreaquecedor de isobutano de stripagem |
| AL-E17 | Aquecedor da soda do ASO |
| AL-E18 | Aquecedor do acumulador de ASO |
| AL-E19 | Arrefecedor do isobutano de reciclo |
| AL-E2 | Pré-aquecedor carga hydrisom |
| AL-E20 | Permutador da alimentação do fraccionador principal/reciclo |

| | |
|---------|--|
| AL-E21 | Condensador do reciclo de isobutano |
| AL-E22 | Arrefecedor do flushing da bomba AL-P-11 A/B |
| AL-E23 | Permutador da alimentação da fraccionadora principal/alquilado |
| AL-E24 | Condensador da rectificadora de butano |
| AL-E25 | Condensador de topo do fraccionador principal |
| AL-E26 | Arrefecedor do produto alquilado |
| AL-E27 | Permutador de alimentação |
| AL-E28 | Reboiler do despropanizadora |
| AL-E29 | Condensador de topo do despropanizador/stripper de HF |
| AL-E3 | Aquecedor carga do estabilizador |
| AL-E30 | Arrefecedor de produto de fundo do despropanizadora |
| AL-E31 | Reboiler do stripper de HF |
| AL-E32 | Arrefecedor do produto de fundo da stripper |
| AL-E33 | Aquecedor da alimentação ao desfluorizador de propano |
| AL-E34 | Arrefecedor de propano para armazenagem |
| AL-E35 | Aquecedor da alimentação do desfluorizador de butano |
| AL-E36 | Arrefecedor de butano para armazenagem |
| AL-E39 | Reboiler da despropanizadora |
| AL-E4 | Reboiler fundo estabilizador |
| AL-E4 A | Arrefecedores de ácido |
| AL-E40 | Vaporizador ácido |
| AL-E43 | Interaquecedor da fraccionadora principal |
| AL-E44 | Permutador da alimentação ao desfluorizador do propano |
| AL-E45 | Permutador da carga aos desfluorizadores de butano/fundo |
| AL-E46 | Arrefecedor de condensados contaminados de baixa pressão |
| AL-E47 | Condensador do flash de baixa pressão dos condensados contaminados |

| | |
|----------|--|
| AL-E48 | Condensador de flash de baixa pressão dos condensados limpos |
| AL-E50 | Aquecedor da carga á fraccionadora principal |
| AL-E70 | Permutador |
| AL-E72 | Condensador da regeneração dos secadores de propileno |
| AL-E74 | Revaporizador da regeneração dos secadores de propileno |
| AL-E80 | Permutador |
| AL-H1 | Forno da fraccionadora principal |
| AL-P10 A | Bomba de transferência de ASO |
| AL-P10 B | Bomba de transferência de ASO |
| AL-P11 A | Bomba de carga ao fraccionamento principal |
| AL-P11 B | Bomba de carga ao fraccionamento principal |
| AL-P12 B | Bomba de refluxo do fraccionamento principal |
| AL-P12 B | Bomba de refluxo do fraccionamento principal |
| AL-P13 A | Bomba de reboiler do fraccionamento principal |
| AL-P13 B | Bomba de reboiler do fraccionamento principal |
| AL-P14 A | Bomba de refluxo do despropanizador |
| AL-P14 B | Bomba de refluxo do despropanizador |
| AL-P15 A | Bomba de circulação de soda da ARN |
| AL-P15 B | Bomba de circulação de soda da ARN |
| AL-P16 A | Bomba de propano |
| AL-P16 B | Bomba de propano |
| AL-P17 | Bomba de soda caustica diluída |
| AL-P18 | Bomba de CaCl_2 |
| AL-P19 A | Bomba de drenagem da soda exausta |
| AL-P19 B | Bomba de drenagem da soda exausta |
| AL-P21 A | Bomba de condensados contaminados |
| AL-P21 B | Bomba de condensados contaminados |
| AL-P22 A | Bomba de água de arrefecimento |
| AL-P22 B | Bomba de água de arrefecimento |
| AL-P22 C | Bomba de água de arrefecimento |
| AL-P25 A | Bomba portátil |
| AL-P25 B | Bomba portátil |

| | |
|----------|---|
| AL-P26 A | Bomba de condensados limpos |
| AL-P26 B | Bomba de condensados limpos |
| AL-P27 | Bomba de transferência de slops ligeiros |
| AL-P7 A | Bomba da carga do isobutano |
| AL-P7 B | Bomba da carga do isobutano |
| AL-P8 A | Bomba da regeneração de ácido |
| AL-P8 B | Bomba da regeneração de ácido |
| AL-P9 A | Bomba de circulação de soda/ASO |
| AL-P9 B | Bomba de circulação de soda/ASO |
| AL-S2 | Misturador da carga á alquilação e isobutano de reciclo |
| AL-S3 | Misturador de ASO e soda |
| AL-S4 | Misturador de soda cáustica para o ARN e vapor de baixa pressão |
| AL-V11 | Armazenagem de ácido |
| AL-V12 | Decantador ácido |
| AL-V13 | Coluna de regeneração de ácido |
| AL-V14 | Lavagem caustica ASO |
| AL-V15 | Balão acumulador de ASO |
| AL-V16 | Coluna de fraccionamento principal |
| AL-V17 | Rectificador de butano |
| AL-V18 | Acumulador principal do fraccionamento |
| AL-V19 | Despropanizadora |
| AL-V20 | Acumulador de topo do stripper de HF e da despropanizadora |
| AL-V21 | Absorvedor de gás extraído (saído) |
| AL-V22 | Stripper de HF |
| AL-V23 A | Desfluorizador de propano |
| AL-V23 B | Desfluorizador de propano |
| AL-V24 | Tratador de propano com KOH |
| AL-V25 A | Desfluorizador de butano |
| AL-V25 B | Desfluorizador de butano |
| AL-V26 | Tratador de butano com KOH |
| AL-V27 | Neutralizador das relifs ácidas |
| AL-V29 | Coalescedor de propano/propileno |

| | |
|--------|---|
| AL-V30 | Tanque de armazenamento de ácido |
| AL-V31 | Barrilote da estabilizadora |
| AL-V33 | Balão de flash de condensados contaminados |
| AL-V37 | Balão de flash de condensados limpos de baixa pressão |
| AL-V4 | Estabilizador |
| AL-V43 | Acumulador de fuel gás |
| AL-V45 | Tanque de dissolução de cloreto de cálcio |
| AL-V8 | Balão de carga de butanos saturados |
| AL-X1 | Bacia de neutralização |
| AL-X2 | Bacia de precipitação de fluoreto de cálcio |
| AL-X3 | Bacia de recepção de efluentes |
| AL-X4 | Torre de refrigeração da unidade de alquilação |
| AL-X5 | Tanque de retenção de águas residuais |
| AL-X6 | Pack de dissolução de cloreto de cálcio |
| AL-X8 | Dessobreaquecedor de vapor de baixa pressão |
| AL-X9 | Dessobreaquecedor de vapor de pressão intermédia |

Tabela A.10-Identificação de equipamentos no FCC.[88]

| Abreviações | Equipamento |
|-------------|---|
| FC-C1 | Ventilador de ar para combustor |
| FC-E1 A/B | Permutador |
| FC-E2 | Permutador |
| FC-E3 A/B | Permutador |
| FC-E4 A/B | Permutador |
| FC-E5 | Permutador |
| FC-E6 | Permutador |
| FC-E7 | Permutador |
| FC-E8 | Permutador |
| FC-E9 A/B | Permutador |
| FC-H1 | Aquecedor de ar para combustor/regenerador |
| FC-J1 | Ejector para transporte do catalisador |
| FC-MS3 | Decantador de condensado do vapor de stripagem do FC-V2 |

| | |
|---------------|---|
| FC-MS4 | Válvula de corte caudal para combustor FC-H1 |
| FC-MS7 | Slide válvula do catalisador para regenerador |
| FC-MS8 | Slide válvula do catalisador regenerado |
| FC-MS9 | Slide válvula de recirculação de catalisador |
| FC-P1 A/B | Bomba de slurry para armazenagem ou VB |
| FC-P10 A/B | Bomba de refluxo de topo da FC-V-10 |
| FC-P11 A/B | Turbina de nafta para GC-V5 e FC-V2 |
| FC-P12 A/B | Bomba de carga ao reator |
| FC-P14 A/B | Turbina |
| FC-P17 | Bomba de óleo da slide válvula FC-MS7 |
| FC-P18 | Bomba de óleo da slide válvula FC-MS8 |
| FC-P19 | Bomba de óleo da slide válvula FC-MS9 |
| FC-P3 A/B | Bomba de circulação de gasóleo pesado |
| FC-P4 A/B | Bomba de gasóleo pesado de reciclo |
| FC-P5 A/B | Bomba de circulação de swing cut |
| FC-P6 A/B | Bomba de LCO para armazenagem |
| FC-P7 A/B | Bomba de swing cut para armazenagem |
| FC-P8 A/B | Bomba de LCO |
| FC-P9 A/B | Bomba de águas ácidas do FC-V-10 |
| FC-PTV2 A/B/C | Turbina de circulação de slurry |
| FC-V1 | Reactor |
| FC-V10 | Acumulador de topo da FC-V7 |
| FC-V11 | Acumulador de alimentação |
| FC-V2 | Stripper do catalisador |
| FC-V3 | Combustor |
| FC-V4 | Regenerador |
| FC-V5 | Tremonha de catalisador fresco |
| FC-V6 | Tremonha de catalisador de equilíbrio |
| FC-V7 | Coluna de fraccionamento |
| FC-V8 | Stripper de swing cut |
| FC-V9 | Stripper de gasóleo ligeiro |
| GC-C01 | Compressor dos gases de topo da FC-V7 |
| GC-E1 | Permutador |
| GC-E10 | Permutador |
| GC-E11 A/B | Permutador |

| | |
|------------|--|
| GC-E12 | Permutador |
| GC-E13 | Permutador |
| GC-E14 | Permutador |
| GC-E15 | Permutador |
| GC-E16 | Permutador |
| GC-E18 | Permutador |
| GC-E19 | Permutador |
| GC-E2 | Permutador |
| GC-E20 | Permutador |
| GC-E21 | Permutador |
| GC-E22 | Permutador |
| GC-E23 | Permutador |
| GC-E3 | Permutador |
| GC-E4 | Permutador |
| GC-E5 | Permutador |
| GC-E6 | Permutador |
| GC-E7 | Permutador |
| GC-E8 | Permutador |
| GC-E9 | Permutador |
| GC-P01 A/B | Bomba do acumulador de inter estágios |
| GC-P02 A/B | Bomba de injeção de água ao GC-E18 |
| GC-P03 A/B | Bomba da fase líquida do acumulador de alta pressão |
| GC-P04 A/B | Bomba do produto de fundo da coluna desetanizadora |
| GC-P05 A/B | Bomba de refluxo inferior |
| GC-P06 | Bomba de refluxo superior |
| GC-P07 A/B | Bomba de Lean oil da GC-V6 |
| GC-P08 A/B | Bomba de fundo da desbutanizadora |
| GC-P09 A/B | Bomba de LPG do GC-V10 para refluxo e tratamento com amina |
| GC-P10 A/B | Bomba de propano para armazenagem e refluxo |
| GC-P11 A/B | Turbina do acumulador de aspiração do GC-C1 |
| GC-P12 A/B | Bomba da fase líquida do acumulador de aspiração do GC-C1 |

| | |
|------------|---------------------------------------|
| GC-P13 A/B | Turbina de óleo de lubrificação |
| GC-TV1 | Turbina do compressor |
| GC-V01 | Tanque de condensado para GC-E18 |
| GC-V02 | Acumulador de aspiração do GC-C1 |
| GC-V03 | Acumulador de inter estágios do GC-C1 |
| GC-V04 | Acumulador de alta pressão |
| GC-V05 | Coluna desertanizadora |
| GC-V06 | Coluna absorvedora |
| GC-V07 | Decantador |
| GC-V08 | Stripper da carga da desbutanizadora |
| GC-V09 | Coluna desbutanizadora |
| GC-V10 | Acumulador de topo da desbutanizadora |
| GC-V11 | Splitter |
| GC-V12 | Acumulador de topo do splitter |
| GC-V13 | Tanque de óleo de lubrificação |
| GC-V14 | Tanque de degasificação do óleo |

Tabela A.11-Identificação de equipamentos na HT.[89]

| Abreviações | Equipamento |
|-------------|--|
| HT-C1 A/B | Compressor de reciclo |
| HT-E1 | Carga do splitter |
| HT-E10 | Arrefecedor do estabilizador |
| HT-E11 | Condensador da HCN produto |
| HT-E12 | Arrefecedor de HCN |
| HT-E13 | Reboiler do estabilizador |
| HT-E14 | Fundo do estabilizador |
| HT-E2 | Pré-aquecedor com vapor |
| HT-E20 | Pré-aquecedor de amina |
| HT-E21 | Fundo do estabilizador |
| HT-E25 A/B | Arrefecedores do circuito de água do HT-C1 A/B |
| HT-E26 | Resistência de aquecimento do tanque de água dos compressores HT-C1 A/B |
| HT-E27 | Arrefecedor do circuito de óleo do HT-C1 |
| HT-E28 | Arrefecedor do circuito de óleo do HT-C1 B |
| HT-E29 | Resistência de aquecimento do tanque de óleo do HT-C1 A |
| HT-E3 | Condensador de topo do splitter |
| HT-E30 | Resistência de aquecimento do tanque de óleo do HT-C1 B |
| HT-E4 A/B | Reboilers do splitter |
| HT-E5 | Arrefecedor de LCN |
| HT-E6 A/D | Carga dos reactores |

| | |
|--------------|---|
| HT-E7 | Condensador do efluente do reactor |
| HT-E8 | Arrefecedor do efluente dos reactores |
| HT-E9 | Condensador do estabilizador |
| HT-F1 A/B | Filtros do circuito de óleo do HT-C1 A |
| HT-F10 A/B | Filtros de carga à unidade |
| HT-F2 A/B | Filtros do circuito de óleo do HT-C1 B |
| HT-H1 | Forno do reactor de acabamento da HDT |
| HT-J1 | Ejector de arranque |
| HT-J2 | Dessobreaquecedor de vapor |
| HT-P1 A/B | Bombas de carga |
| HT-P10 A/B | Bombas de agente de sulfuração |
| HT-P11 A/B | Bomba de transferência de dreno oleoso |
| HT-P12 | Bomba de transferência de dreno de amina |
| HT-P13 A/B | Bombas de BFW para o dessobreaquecedor HT-J2 |
| HT-P15 A/B | Bombas do circuito de óleo do HTC-1 A |
| HT-P16 A/B | Bombas do circuito de óleo do HTC-1 B |
| HT-P17 A/B | Bombas do circuito de água do compressor HT-C1 A/B |
| HT-P18 A/B/C | Bombas de antioxidante |
| HT-P2 A/B | Bombas de refluxo do splitter |
| HT-P3 A/B | Bombas de carga da HDT |
| HT-P4 A/B | Bombas de quench |
| HT-P5 A/B | Bombas de refluxo do estabilizador |
| HT-P6 | Bomba de água de lavagem |
| HT-P9 A/B | Bombas de inibidor de corrosão |
| HT-V1 | Acumulador de carga |
| HT-V10 | Absorvedor de amina |
| HT-V103 | Balão de flash de condensados |
| HT-V11 | Balão de KO do compressor |
| HT-V12 | Estabilizador |
| HT-V13 | Acumulador de refluxo do estabilizador |
| HT-V16 | Balão de oxidação do catalisador |
| HT-V19 | Acumulador subterrâneo de dreno oleoso |
| HT-V2 | Reactor de diolefinas |
| HT-V20 | Acumulador subterrâneo de dreno de amina |
| HT-V22 | Balão de KO do fuel gás |
| HT-V29 | Tanque do circuito de água dos compressores HT-C1 A/B |
| HT-V3 | Splitter |
| HT-V30 | Amortecedor de impulsos da aspiração do HT-C1 A |
| HT-V31 | Balão de drenagem das chumaceiras do HT-C1 A |
| HT-V37 | Amortecedor de impulsos da compressão do HT-C1 A |
| HT-V38 | Amortecedor de impulsos da compressão do HT-C1 A |
| HT-V39 A | Balão de drenagem das chumaceiras dos cilindros do HT-C1 A |
| HT-V39 B | Balão de drenagem das chumaceiras do lado do corpo do HT-C1 A |

| | |
|----------|---|
| HT-V4 | Acumulador de refluxo do splitter |
| HT-V40 | Amortecedor de impulsos da aspiração do HT-C1 B |
| HT-V41 | Balão de drenagem das chumaceiras do HT-C1 B |
| HT-V47 | Amortecedor de impulsos da compressão do HT-C1 B |
| HT-V48 | Amortecedor de impulsos da compressão do HT-C1 B |
| HT-V49 A | Balão de drenagem das chumaceiras do dos cilindros do HT-C1 B |
| HT-V49 B | Balão de drenagem das chumaceiras do lado do corpo do HT-C1 B |
| HT-V5 | Primeiro reactor de HDT |
| HT-V6 | Reactor de acabamento da HDT |
| HT-V7 | Separador quente |
| HT-V8 | Separador frio |
| HT-V9 | Balão de KO do absorvedor de amina |

Tabela A.12-Identificação de equipamentos na HR.

| Abreviações | Equipamento |
|-------------|-----------------------------------|
| HR-C1 A/B | Compressor de hidrogénio |
| HR-C2 | Compressor de nitrogénio |
| HR-E1 | Aquecedor de gás |
| HR-E10 | Aquecedor |
| HR-E11 | Arrefecor de nitrogénio |
| HR-E7 | Aquecedor de água desmineralizada |
| HR-E8 | Aeroarrefecor |
| HR-E9 | Arrefecedor |
| HR-H1 | Forno |
| HR-J1 | Ejector |
| HR-P1 A/B | Bombas de alimentação de nafta |
| HR-P2 A/B | Bombas de BFW |
| HR-P3 A/B | Bombas de BFW |
| HR-P4 | Bomba blowdown |
| HR-V1 | Vapor de saída |
| HR-V10 | Acumulador Blowdown |
| HR-V11 | Vapor de saída |
| HR-V7 | Desaerador |
| HR-V8 | Desgasificador |
| HR-Y1 | Unidade de PSA |
| HR-Y4 | Tanque com camada de nitrogénio |

Tabela A.13-Identificação de equipamentos no HC.

| Abreviações | Equipamento |
|-------------|-----------------------------------|
| AK-E28 | Arrefecedor |
| AK-E4 | Aquecedor de regeneração de amins |
| AK-E5 | Arrefecedor de água da make up |
| AK-J2 | Ejector |
| AK-S1 | Desobreaquecedor |

| | |
|--------------|--|
| AK-S2 | Desobreaquecedor |
| AK-S21 | Desobreaquecedor |
| AK-S22 | Desobreaquecedor |
| AK-T1 | Tanque de armazenagem de aminas |
| AK-V28 | Acumulador |
| AK-V29 | Acumulador |
| AK-V6 | Acumulador |
| HC-C1 | Compressor de gás de reciclo |
| HC-C2 | Compressor |
| HC-CM2 | Motor elétrico do permutador do compressor HC-C2 |
| HC-E30 | Arrefecedor de kerosene |
| HC-E32 | Arrefecedor de diesel |
| HC-E33 | Arrefecedor |
| HC-E34A/B | Primeiro estágio permutador |
| HC-E35A/B | Segundo estágio permutador |
| HC-E36 | Arrefecedor de óleo |
| HC-E37 | Arrefecedor |
| HC-E39 | Arrefecedor LPG |
| HC-E41 | Arrefecedor nafta leve |
| HC-E43 | Gerador de vapor |
| HC-E44 | Arrefecedor nafta pesada |
| HC-E45 | Gerador de vapor |
| HC-E47 | Arrefecedor de amina |
| HC-E48 | Arrefecedor do fraccionador |
| HC-E51 | Gerador de vapor |
| HC-E52 | Arrefecedor de estabilizador de nafta |
| HC-E63 | Arrefecedor blowdown |
| HC-E66 | Aquecedor de água de alimentação |
| HC-E71 | Arrefecedor de água |
| HC-E81 | Reboiler |
| HC-E82 | Arrefecedor |
| HC-E84 | Arrefecedor do propano |
| HC-E92 A/B/C | Arrefecedor do compressor HC-C2 |
| HC-E93 A/B/C | Arrefecedor do compressor HC-C2 |
| HC-E94 A/B/C | Arrefecedor da água de arrefecimento do compressor HC-C2 |
| HC-E95 A/B/C | Arrefecedor da água de arrefecimento do compressor HC-C2 |
| HC-E96A/B | Arrefecimento do óleo |
| HC-H1 | 1.º estágio do forno |
| HC-H2 | 2.º estágio do forno |
| HC-H3 | 3.º estágio do forno |
| HC-J1 | Ejector |
| HC-J2 | Ejector |
| HC-J3 | Ejector |
| HC-J90 | Ejector |
| HC-J91 | Ejector |
| HC-J92 | Ejector de primeiro estágio |
| HC-J93 | Ejector de primeiro estágio |

| | |
|----------|---------------------------------------|
| HC-J94 | Ejector de segundo estágio |
| HC-J95 | Ejector de segundo estágio |
| HC-S1 | Desobreaquecedor |
| HC-S14 | Desobreaquecedor |
| HC-S2 | Desobreaquecedor |
| HC-S3 | Desobreaquecedor |
| HC-TV17 | Turbina do diesel |
| HC-TV2 | Turbina |
| HC-TV3 | Turbina do fraccionador |
| HC-TV95A | Turbina do HC-C1 |
| HC-TV98A | Turbina do HC-C1 |
| HC-V101 | Expansão do HC-C1 |
| HC-V2 | Stripper |
| HC-V21 | Acumulador |
| HC-V28 | Acumulador |
| HC-V3 | Fraccionador |
| HC-V30 | Acumulador |
| HC-V41 | Acumulador |
| HC-V47 | Desgasificador |
| HC-V6 | Stripper de diesel |
| HC-V61 | Acumulador |
| HC-V62 | Acumulador |
| HC-V64 | Acumulador blowdown |
| HC-V66 | Acumulador |
| HC-Y1 | Secador do diesel do sistema de vácuo |
| HC-Y10 | Secador de propano |

Anexo B- Lista de pacotes utilizados

O R é uma ferramenta de análise estatística em ascensão devido à sua simplicidade em termos de utilização e à sua grande variedade de pacotes, sendo estas ferramentas previamente preparadas com o objectivo de proporcionar ao utilizador uma grande facilidade na análise dos dados. É de referir que cada pacote pode necessitar de uma pré-instalação de um pacote auxiliar.

A tabela seguinte identifica todos os pacotes utilizados na dissertação.

Tabela B.1-Pacotes utilizados na dissertação.

| Nome | Objectivo |
|--------------|--|
| arm | Análise de dados utilizando regressão e modelos de níveis múltiplos. |
| car | Regressão detalhada. |
| caret | Treino da regressão. |
| class | Classificação. |
| cluster | Identificação de grupos. |
| clustertend | Método estatístico de separação de grupos. |
| coefplot | Representação gráfica de coeficientes lineares. |
| confidence | Verificação de dados com percentagem atribuída. |
| crossval | Validação de modelos. |
| e1071 | Afinação de modelos e associações. |
| effects | Visualização de efeitos de diversas variáveis em vários modelos. |
| ellipse | Criação de elipses com um determinado grau de confiança. |
| expm | Alteração de dados dentro da matriz. |
| factoextra | Visualização gráfica do PCA detalhada. |
| FactoMineR | Visualização gráfica do PCA. |
| fit.models | Comparação de modelos óptimos. |
| foreign | Leitura de dados com origem em diferentes programas. |
| formula | Criação de uma fórmula extensa. |
| gclus | Visualização gráfica de associações e partições. |
| ggplot2 | Representação gráfica de alta qualidade. |
| ggrepel | Impedir a sobreposição de legendas. |
| gplots | Programa auxiliar de ajuda de construção de gráficos. |
| graphics | Construção de gráficos simples mas de alto valor de resposta. |
| grid | Criação de eixos e subsecções em gráficos. |
| gridExtra | Criação de eixos com maior número de opções. |
| ISwR | Introdução teórica de estatística do programa R, com diversos casos de estudo. |
| kernlab | Estudo de associações. |
| labeling | Criação de títulos de eixos e gráficos com alta facilidade. |
| lme4 | Modelos lineares com efeito. |
| lmttest | Teste de regressões lineares. |
| MASS | Modelo auxiliar de criação de modelos, de associações e partições. |
| neuralnet | Criação de uma rede neuronal. |
| party | Criação de árvores de decisão. |
| pls | Criação de modelos pls. |
| randomForest | Criação de dados repartidos e estudo de interacções entre variáveis. |
| Rcmdr | Criação de uma plataforma interactiva de fácil visualização gráfica. |
| readr | Leitura de diversos documentos provenientes do excel. |
| robustbase | Criação de modelos óptimos e identificação de outliers. |
| scales | Normalização de dados. |
| simba | Teste estatístico à diferença de declives e de ordenadas na origem. |

| | |
|---------|--|
| stats | Pacote com diversos testes estatísticos simples. |
| stringr | Criação de strings. |
| whisker | Separação de dados. |
| zoo | Pacote auxiliar em todos os aspectos possíveis da análise estatística. |

Anexo C- Listas de TAGS

Ao longo deste anexo são listadas todas as TAGS utilizadas na dissertação.

Tabela C.1-TAGS utilizadas na diferenciação dos tipos de programa.

| Tags | Definições | S.I |
|----------|---|--------------------|
| CCA886 | Densidade do resíduo atmosférico | kg/dm ³ |
| CCDA488A | Densidade do crude | kg/dm ³ |
| CCDR178A | Razão entre resíduo atmosférico e carga | % m/m |
| CCF178 | Resíduo atmosférico Ramal A | m ³ /h |
| CCF179 | Resíduo atmosférico Ramal B | m ³ /h |

Tabela C.2-TAGS utilizadas no estudo do consumo energético da destilação atmosférica.

| Tags | Definições | S.I |
|----------|-----------------------------|-------------------|
| CCF119 | Vapor stripagem para CC-V4 | t/h |
| CCF342 | Cond.Reb Deset CC-E33 | m ³ /h |
| CCF4104 | Vapor 3.5 para CC-E52 | kg/h |
| CCF451 | Vapor atomização CC-H1B Z1 | kg/h |
| CCF458 | Vapor atomização CC-H1A Z1 | kg/h |
| CCF48 | Vapor stripagem para CC-V1 | t/h |
| CCF540 | Cond. CCE49 fund CCV22 | m ³ /h |
| CCF544 | Vapor 3.5 para stripper LGO | t/h |
| CCF688 | Vapor 3.5 do CC-E25A-1 | kg/h |
| CCF689 | Vapor 3.5 do CC-E25A-2 | kg/h |
| CCF690 | Vapor 3.5 do CC-E25A-3 | kg/h |
| CCF691 | Vapor 3.5 do CC-E25A-4 | kg/h |
| CCF692 | Vapor 3.5 do CC-E25B-1 | kg/h |
| CCF693 | Vapor 3.5 do CC-E25B-2 | kg/h |
| CCF694 | Vapor 3.5 do CC-E25B-3 | kg/h |
| CCF695 | Vapor 3.5 do CC-E25B-4 | kg/h |
| CCF81 | Vapor stripagem para CC-V2 | t/h |
| CCF887 | Vapor 24 para CC-C1 | t/h |
| CCF978 | Vapor atomização CC-H1A Z2 | kg/h |
| CCF979 | Vapor atomização CC-H1B Z2 | kg/h |
| CCTAMB01 | Temperatura ambiente | °C |

Tabela C.3-TAGS utilizadas no estudo das variáveis significativas.

| Tags | Definições | S.I |
|----------|--------------------------------|--------------------|
| ALF0403 | Alimentação C4/IC4 ao Hydrisom | m ³ /h |
| ALF1413 | ALQ E-26 para armazenagem | m ³ /h |
| ALFI6202 | Carga Total V-120 | m ³ /h |
| CCDA488A | Densidade do crude | kg/dm ³ |

| | | |
|---------------|---|---------|
| CCF178 | Resíduo atmosférico Ramal A | m³/h |
| CCF179 | Resíduo atmosférico Ramal B | m³/h |
| CCF2000 | Fuel óleo de entrada C-H1A | t/h |
| CCF2001 | Fuel óleo retorno C-H1A | t/h |
| CCF2002 | Fuél óleo entrada C-H1B | t/h |
| CCF2003 | Fuél óleo retorno C-H1B | t/h |
| CCF2902 | Resíduo atmosférico para distribuição | m³/h |
| CCF394 | Carga Desisopentanizador | m³/h |
| CCF4022 | Alimentação quente para VDU 1 | m³/h |
| CCF4023 | Alimentação quente para VDU 2 | m³/h |
| CCF512 | Fundo para splitter | m³/h |
| CCF672 | Entrada CC-H2 passo 1 | m³/h |
| CCF73 | Crude para pré-flash CV6 Ramal B | m³/h |
| CCF75 | Crude para pré-flash CV6 Ramal A | m³/h |
| CCM258 | HVGO para armazenagem | t/h |
| CCM264 | LVGO para armazenagem | t/h |
| CCP462 | Zona de flash da CC-V1 | bar |
| CCT461 | Zona de flash da CC-V1 | °C |
| CEF115 | Água alimentação BF2 | t/h |
| CEF4400 | Água alimentação BF4 | t/h |
| CEF4402 | Fuel óleo BF4 | t/h |
| CEF4403 | Fuel gás BF4 | t/h |
| CEF5303 | Vapor extracção 3.5 TG5 | t/h |
| CEF73 | Vapor admissão TG3 | t/h |
| CEF76 | Vapor extracção 24 TG5 | t/h |
| CEF77 | Vapor extracção TG2 | t/h |
| CEF78 | Vapor extracção TG3 | t/h |
| CEF79 | Vapor extracção TG4 | t/h |
| CEF84 | Condensados TG2 | m³/h |
| CEF86 | Condensados TG3 | m³/h |
| CEF88 | Condensados TG4 | m³/h |
| CEJI5301 | Potência activa TG5 | MW |
| CGA0002_DACA | Poder calorífico inferior GN BOP | kWh/Nm³ |
| CGF0001_DACA | Caudal de gás natural após primeira redução | Nm³/h |
| CGF1133A_DACA | Água alimentação BR1 | t/h |
| CGF1314_DACA | Controlo fuel gás queimadores BR | Nm³/h |
| CGF2133A_DACA | Água alimentação BR2 | t/h |
| CGF2314_DACA | Controlo fuel gás queimadores BR | m³/h |
| CGJ1000_DACA | Potência activa gerador GT1 | MW |
| CGJ2000_DACA | Potência activa gerador GT2 | MW |
| FCCOKEBAL | Balanço energético do FCC | kg/h |
| FCF1501 | Carga de FC-VII | m³/h |
| FFA19_UT | Densidade de fuel óleo | kg/m³ |
| FFA607 | Densidade fuel gás FF-V9 | kg/m³ |

| | | |
|--------------|--|---------|
| FFD2 | Poder calorifico de fuel gás | kcal/kg |
| FFD3_DACA | Poder caloifico de fuel gás na fábrica III | kcal/kg |
| FFD4 | Poder calorifico de fuel óleo | kcal/kg |
| FFM3251 | FG para distribuição | t/h |
| FFM5009_DACA | Caudal do fuel gás da fábrica I para fábrica III | kg/h |
| FFM5017_DACA | Caudal do fuel gás da fábrica III | kg/h |
| GNFV4704A | Contador de gás natural corrigido PRM | Nm³/h |
| HCF112_DACA | Caudal de carga 1ºreactor | m³/h |
| HCM112A_DACA | Carga ao 1ºreactor | t/h |
| HCM522_DACA | Caudal H2 topo HC-V-49 para ROG | kg/h |
| HDF134 | Carga à unidade | m³/h |
| HGF2001 | Carga à unidade | m³/h |
| HIF118 | Fuel gás | kg/h |
| HIF201 | Gás de purga de SMR PSA | kg/h |
| HIF204 | H2 Produto | m³/h |
| HRF2301_DACA | H2 Puro da PSA para colector | kg/h |
| HRF2401_DACA | Fuel gás para queima | kg/h |
| HRF2403_DACA | Purga para queima | kg/h |
| HRF2407_DACA | Fuel gás para piloto | kg/h |
| HRH2423_DACA | Poder calorifico do fuel da make up | kcal/kg |
| HRH2424_DACA | Poder calorifico do fuel da purga | kcal/kg |
| HTF0001 | Caudal carga balão V1 | m³/h |
| HTF0090 | Carga quente passo 3 | m³/h |
| HVF11 | Carga da unidade | m³/h |
| PPF135 | Liq Platform P-E6A | m³/h |
| PPF136 | Liq Platform P-E6B | m³/h |
| PPF35 | Carga da unidade | m³/h |
| PPM9730 | Off gás PV6 ROG PSA | kg/h |
| PPM9731 | Off gás PC1A/B/C ROG PSA | kg/h |
| PPT101 | Saida reactr plat PP-V2 | °C |
| PPT104 | Saida reactr plat PP-V3 | °C |
| PPT107 | Saida reactr plat PP-V4 | °C |
| PPT114 | Entrada reactr plat PP-V5 | °C |
| PPT120 | Entrada reactr plat PP-V4 | °C |
| PPT127 | Entrada reactr plat PP-V3 | °C |
| PPT133 | Entrada reactr plat PP-V2 | °C |
| PPTI4213 | Temperatura efluente V5 para PP-E-26 | °C |
| SBM1 | Gás acido (AB-V10) | kg/h |
| SBM2 | Gás acido (AB-V07) | kg/h |
| SCM341_DACA | Gás acido da amina na 2ªzona do reactor | t/h |
| SCM748_DACA | Gás acido da amina para queimador | t/h |
| SSM5006 | Gás sulfidrico para trem A | kg/h |
| SSM5008 | Gás SWS para trem A | kg/h |
| SSM6006 | Gás sulfidrico para trem B | kg/h |

| | | |
|----------|--------------------------------|------|
| SSM6008 | Gás SWS para trem B | kg/h |
| STDU18 | Potência activa TG2 | MW |
| STDU19 | Potência activa TG3 | MW |
| STDU20 | Potência activa TG4 | MW |
| VB3001 | Carga total VB H 1 | m³/h |
| VVA1001 | Densidade carga do forno VV-H1 | t/m³ |
| VVDP3062 | Pressão zona flash VV-V1 | mbar |
| VVF1017 | Carga total VV H1 | m³/h |
| VVM5002 | HVGO quente | t/h |
| VVM5003 | LVGO quente | t/h |
| VVM5004 | LVGO frio para HV | t/h |
| VVM5005 | HVGO frio para HV | t/h |
| VVM5006 | LVGO frio para armazenagem | t/h |
| VVM5007 | HVGO frio para armazenagem | t/h |
| VVP3062 | Pressão topo VV-V1 | mbar |
| VVT2168 | Saida forno VV-H1 | °C |

Tabela C.4-TAGS utilizadas para obtenção de valores das variáveis constituintes do modelo macro.

| Tags | Definições | S.I |
|---------------|--|--------|
| ALTI6226 | Temp alta N-C4 para armazenagem | °C |
| ALV1413 | Alquilado para armazenagem | m³/h |
| CCA886 | Densidade do resíduo atmosférico | kg/dm³ |
| CCDA488 | Densidade do crude corrigida para 15°C | kg/dm³ |
| CCDM73 | Carga total CC | t/h |
| CCDR178A | Razão entre resíduo atmosférico e carga | % m/m |
| CCF178 | Resíduo atmosférico Ramal A | m³/h |
| CCF179 | Resíduo atmosférico Ramal B | m³/h |
| CCF395 | Nafta do desisopentanizador para armazenagem | m³/h |
| CCT161 | Crude para armazenagem | °C |
| CCT396 | Nafta do desisopentanizador para armazenagem | °C |
| CCTAMB01 | Temperatura ambiente | °C |
| CEF115 | Água alimentação BF2 | t/h |
| CEF4400 | Água alimentação BF4 | t/h |
| CGF1133B_DACA | Caudal vapor alta pressão BR1 | t/h |
| cgf2133b_DACA | Caudal vapor alta pressão BR2 | t/h |
| GCF0502 | Propano para armazenagem | m³/h |
| GCTI9030 | Butano para armazenagem | °C |
| GGF6 | Butano para armazenagem | m³/h |
| HCF176_DACA | Passo 4- Nafta pesada | m³/h |
| HCF185_DACA | E-30-Caudal petróleo para armazenagem | m³/h |
| HCF186_DACA | E-32-Caudal Gasóleo para armazenagem | m³/h |
| HCF187_DACA | E-06-Caudal HC-E-06- óleo não convertido | m³/h |
| HCF207_DACA | E-44-Caudal Nafta Pesada | m³/h |

| | | |
|--------------|---|-------|
| HCT296_DACA | V-04-Temperatura fundo HC-V-04 | °C |
| HCT300_DACA | V-05-Temperatura petróleo | °C |
| HCT318_DACA | E-30-Temperatura petróleo para armazenagem | °C |
| HCT320_DACA | E-32-Temperatura gasóleo para armazenagem | °C |
| HCT322B_DACA | E-06-Control temperatura de saída HC-E-06 | °C |
| HCT365_DACA | E-44- Temperatura nafta pesada | °C |
| HCT59_DACA | Temperatura propano para armazenagem | °C |
| HCT913_DACA | Temperatura de saída de fuel gás da fábrica | °C |
| HCV858_DACA | Saída de fuel gás da fábrica | Nm³/h |
| HGF2025 | Gasóleo para armazenamento | m³/h |
| HGT2094 | Gasóleo tratado para armazenamento | °C |
| HRT1002_DACA | Temperatura de carga de gás natural | °C |
| HTT0176 | Temperatura LCN saída V3 | °C |
| HTT0279 | Temperatura saída HCN do E-11 | °C |
| HTV0108 | Caudal LCN bombas passo 3 | m³/h |
| HTV0285 | HCN do E-12 | m³/h |
| ORFI2395A | Produção propileno | kg/h |
| ORFI2445A | Produção butileno | kg/h |
| PPF180 | Armazenagem de gasolina platforming | m³/h |
| PPT202 | Produção saída do forno PP-H4 | °C |

Anexo D- *Breakdown* dos consumos/produções

Ao longo deste anexo, são analisados os consumos/produções de um ponto de vista individual de todas as unidades processuais estudadas.

Anexo D.1-Destilação atmosférica

Consumo de vapor 24 barg

O vapor 24 barg é consumido principalmente em turbinas e sopradores de forno. Dado que a variável explicativa base é a quantidade de carga da unidade, o consumo será representado inicialmente em função desta. Representa-se graficamente, após eliminação de *outliers*, o comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade através da figura seguinte.

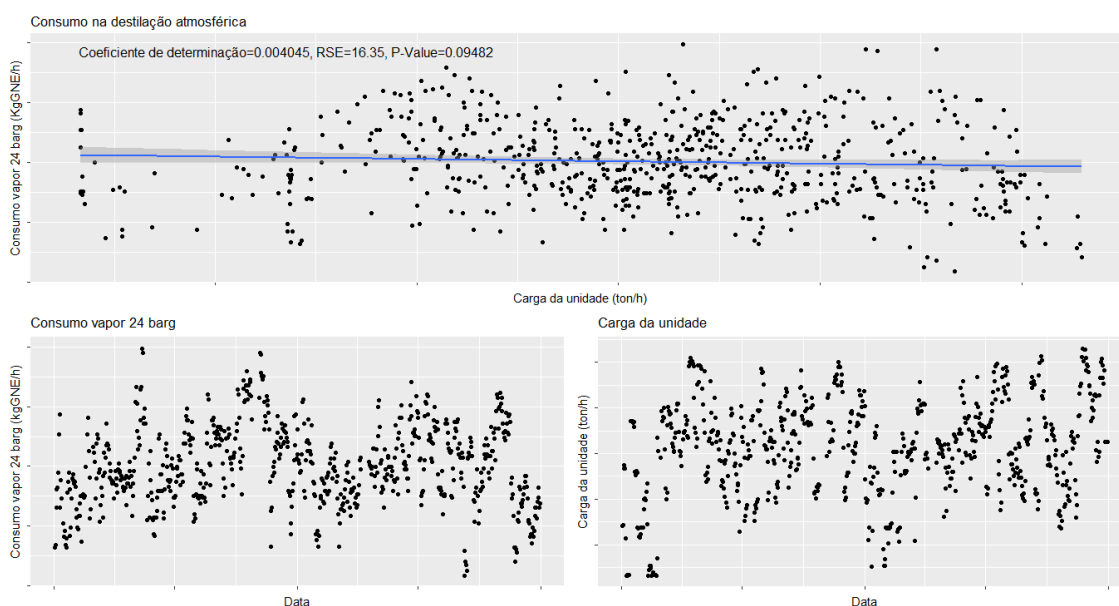


Figura D.1.1-Comportamento do consumo 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

É essencial salientar que o sombreado que se observa na figura D.1.1 representa o intervalo de confiança a 95% do modelo linear. Verifica-se, através da análise da figura D.1.1, que muito dificilmente se encontra uma relação significativa entre o consumo horário e a carga à unidade, porém através das análises das variáveis em função do tempo, verifica-se que até outubro de 2016 estas apresentam o mesmo comportamento, sendo que após esse período de tempo, verifica-se uma alteração nesse comportamento. Este acontecimento deve-se ao aumento do consumo de vapor, por parte da turbina, localizada no topo da coluna de destilação. Dado que esta alteração não foi causada por qualquer variável explicativa escolhida, foram analisadas as rectas produzidas com os dados, antes e após outubro de 2016. Através da utilização do pacote *simba*, verifica-se que estas são significativamente diferentes, deste modo como resultado final, só são aceites as rectas compostas por dados após outubro de 2016. Com a utilização do pacote *simba*, foram distinguidos significativamente, os modelos lineares de diferentes tipos de programas.

A figura seguinte apresenta todas as rectas produzidas neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes das regressões lineares, tendo estes sido analisados no capítulo 2.

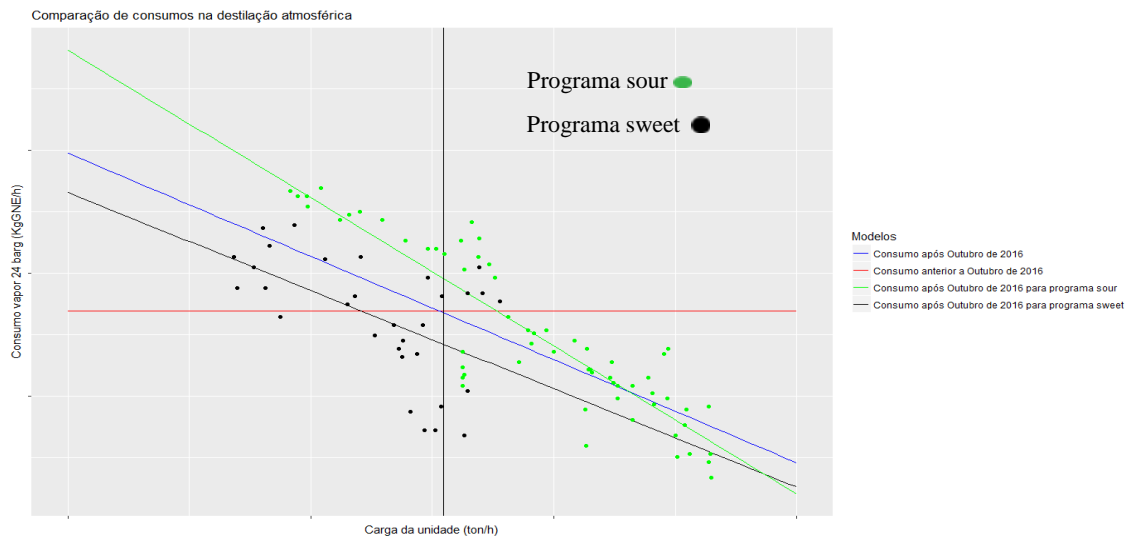


Figura D.1.2-Comparação de modelos lineares.

Através da análise da figura D.1.2, verifica-se que apesar de antes de outubro de 2016 os dados produzirem uma recta em que o consumo é independente à carga da unidade, não se obtém o mesmo resultado para a recta produzida através dos dados após outubro. A partir da recta mais próxima do período actual, sendo esta a mais próxima da realidade, verifica-se que o consumo de vapor 24 barg tende a diminuir com o aumento da carga da unidade. Observa-se, também, que o programa *sour* apresenta um maior número de pontos analisados, assim como pontos com carga mais elevada, coincidindo assim com a teoria. Através da recta vertical, sendo esta a representação da carga nominal média da unidade, verifica-se que o programa *sour* tem um maior consumo que o *sweet*.

Consumo de vapor 10.5 barg

O vapor 10.5 barg é consumido, maioritariamente, nos fornos da destilação atmosférica, sendo o consumo deste cerca de trinta vezes inferior ao de vapor 24 barg. Seguindo o raciocínio idêntico à análise de consumo anterior, é representado graficamente através da figura D.1.3, o comportamento do consumo de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

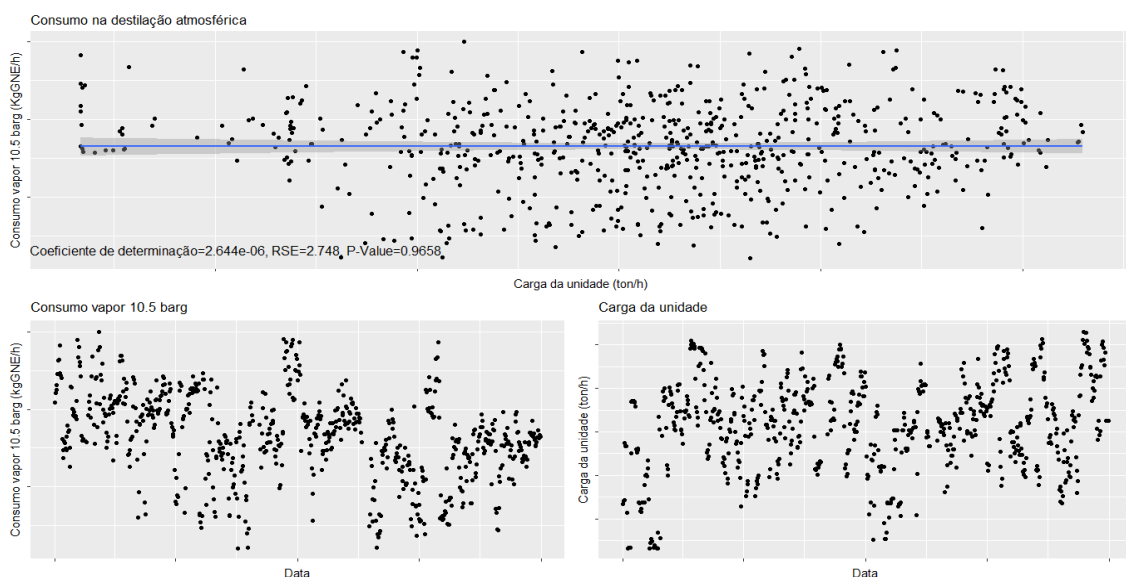


Figura D.1.3-Comportamento do consumo 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

Devido à grande nuvem de dados e alterações constantes não se obtém uma correlação significativa, com qualquer variável explicativa. Deste modo, utilizaram-se todos os dados para se distinguirem os modelos lineares do programa *sour* e *sweet*, tendo esta distinção sido considerada significativa.

A figura seguinte apresenta, à semelhança do consumo de vapor 24 barg, todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

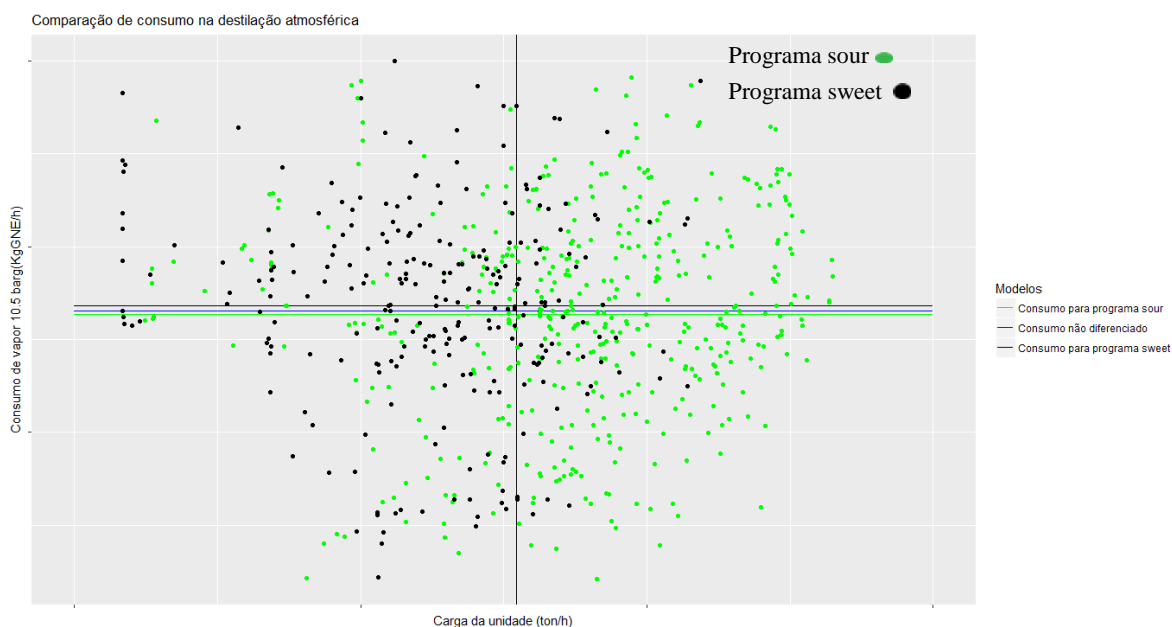


Figura D.1.4-Comparação de modelos lineares.

Devido à grande aglomeração de dados, não é possível definir um modelo com um baixo erro de cálculo, porém os melhores modelos são representados pela média das observações referentes a cada grupo de dados, verificando-se, assim, que apenas o tipo de programa influencia o consumo do vapor 10.5 barg.

Produção de vapor 10.5 barg

A turbina, localizada no topo da coluna de destilação, além de ser o principal equipamento consumidor de vapor 24 barg, também é o principal produtor de vapor 10.5 barg, verificando-se assim uma diferença entre a produção e o consumo de apenas 25 KgGNE/h, sendo o comportamento de ambos bastante semelhante. A figura seguinte representa o comportamento da produção de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

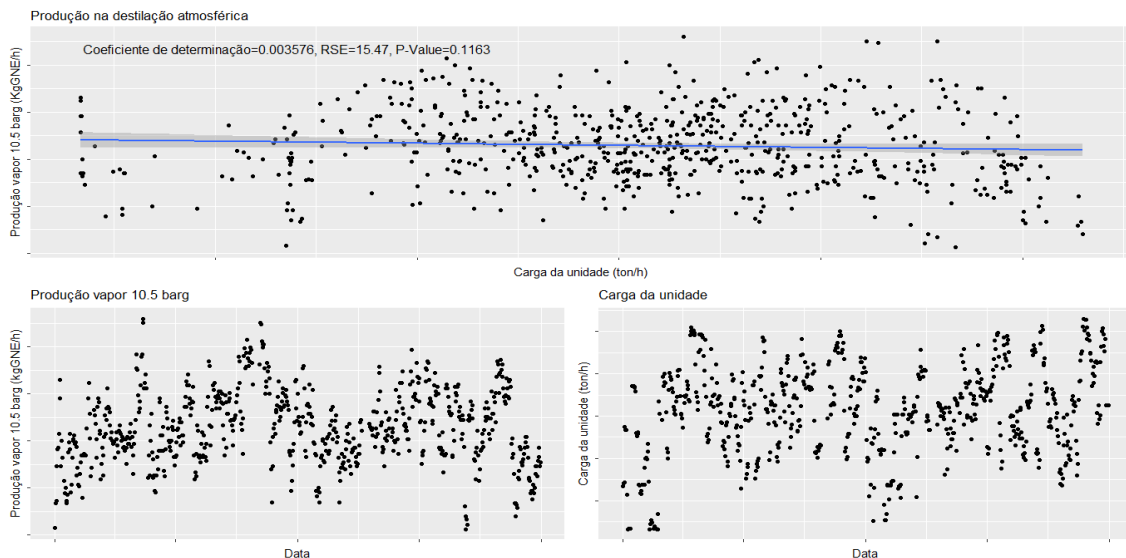


Figura D.1.5-Comportamento da produção 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

Verifica-se, de maneira idêntica ao consumo de vapor 24 barg, uma alteração em relação ao comportamento da produção de vapor 10.5 barg em outubro de 2016, sendo esta originada por um aumento considerável na produção de vapor 10.5 barg da turbina localizada no topo da coluna de destilação. De seguida, aplicou-se o mesmo raciocínio que no consumo de vapor 24 barg, tendo sido obtidos os mesmos resultados. Em suma, não existe uma relação significativa com nenhuma variável explicativa, sendo que estas não explicam a causa da alteração da produção de vapor 10.5 barg. Utilizando o pacote simba, são obtidas duas rectas significativamente diferentes em função do tipo de programa.

A figura seguinte apresenta, à semelhança do consumo de vapor 24 barg, todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

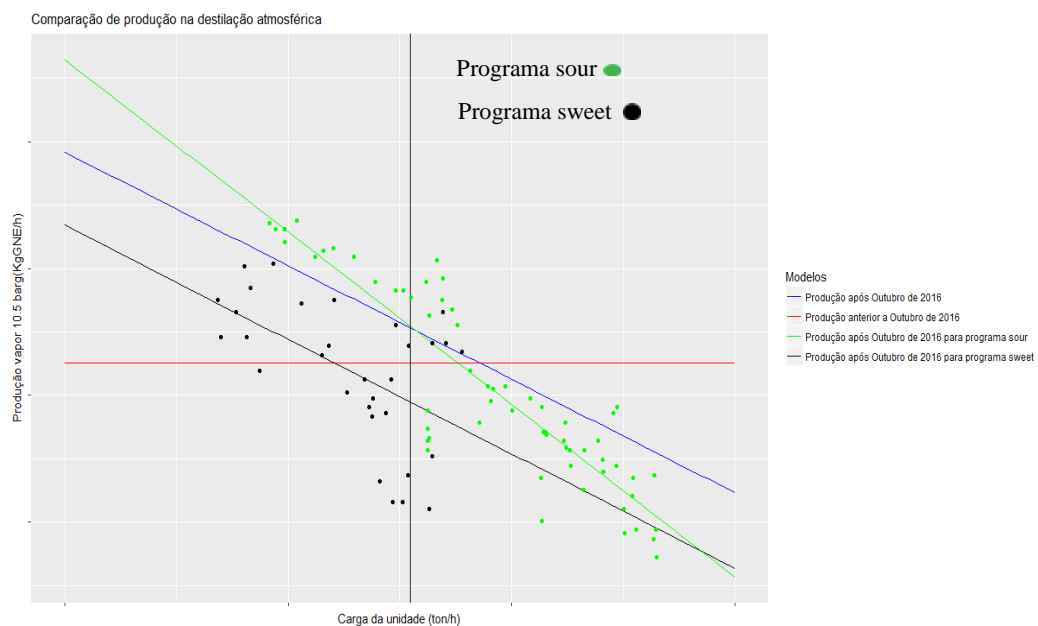


Figura D.1.6-Comparação de modelos lineares.

As conclusões, retiradas a partir da figura D.1.6, são idênticas às retiradas para o consumo de vapor 24 barg.

Consumo de vapor 3.5 barg

O vapor 3.5 barg é consumido na coluna de destilação atmosférica e nos *strippers*, representando este o maior consumo entre os diferentes tipos de vapores. Seguindo o raciocínio das análises anteriores é representado graficamente, através da figura seguinte, o comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

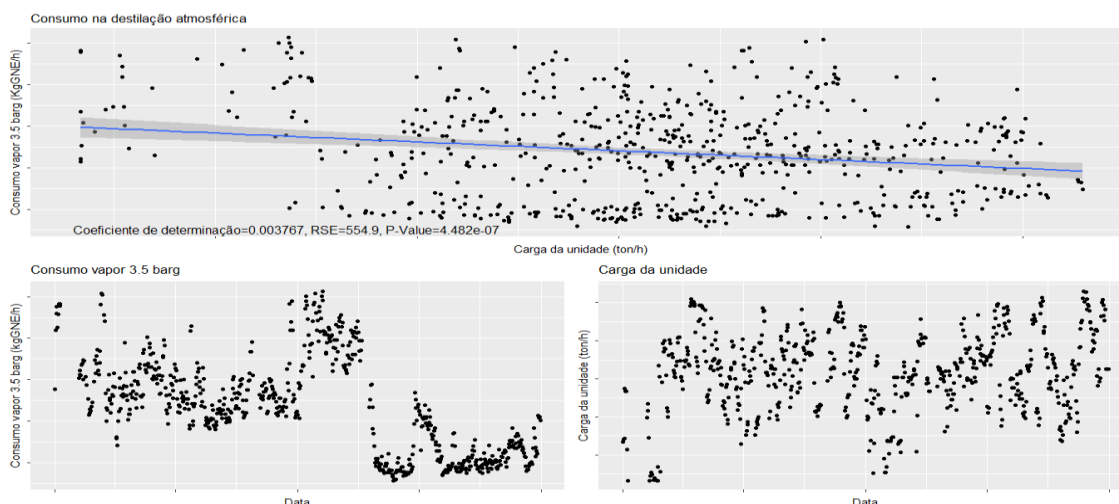


Figura D.1.7-Comportamento do consumo 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.1.7, verifica-se claramente uma diminuição quanto ao consumo de vapor 3.5 barg na destilação atmosférica em abril de 2016, o que se deve a uma diminuição do consumo da coluna de destilação atmosférica. Uma vez que esta diminuição não se consegue explicar, através das variáveis explicativas, foram obtidas duas rectas significativamente diferentes para dados posteriores e anteriores à diminuição, sendo que foram distinguidos modelos para diferentes tipos de programa, utilizando os dados após junho de 2016.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

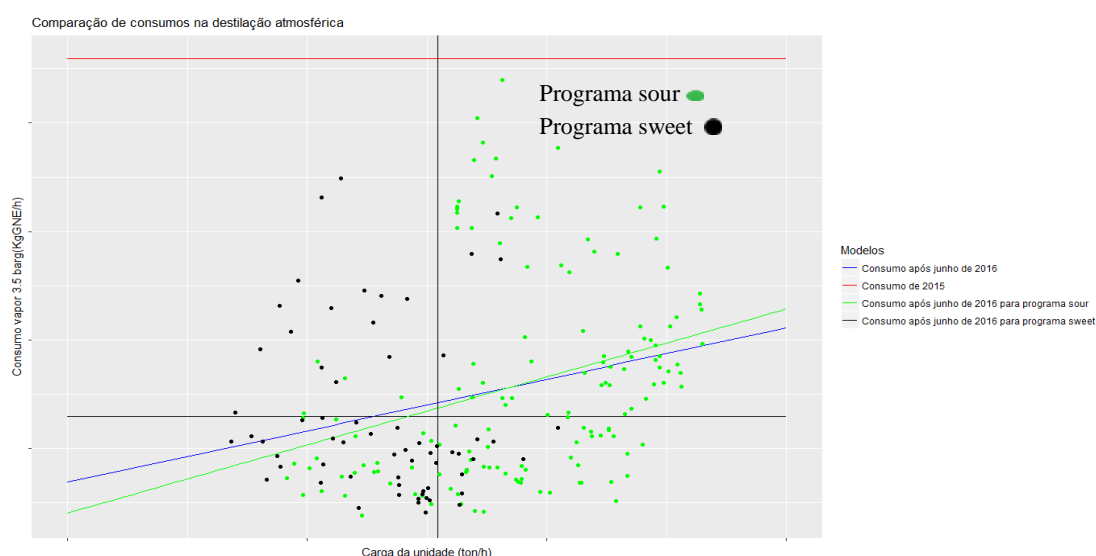


Figura D.1.8-Comparação de modelos lineares.

Através da análise da figura D.1.8, verifica-se que, em alguns modelos lineares, o consumo de vapor tende a aumentar com o aumento da quantidade de carga da unidade, porém devido à grande variação dos consumos de vapor 3.5 barg para quantidades de carga semelhantes, também se poderá considerar o consumo de vapor 3.5 barg independente da quantidade de carga da unidade. Concluindo considera-se que o consumo de vapor 3.5 barg depende da qualidade do programa e da quantidade da carga da unidade.

Produção de vapor 3.5 barg

O vapor 3.5 barg é produzido nos geradores de vapor e numa turbina, sendo este tipo de vapor o mais produzido. Seguindo o raciocínio das análises anteriores é representado graficamente, através da figura D.1.9, o comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

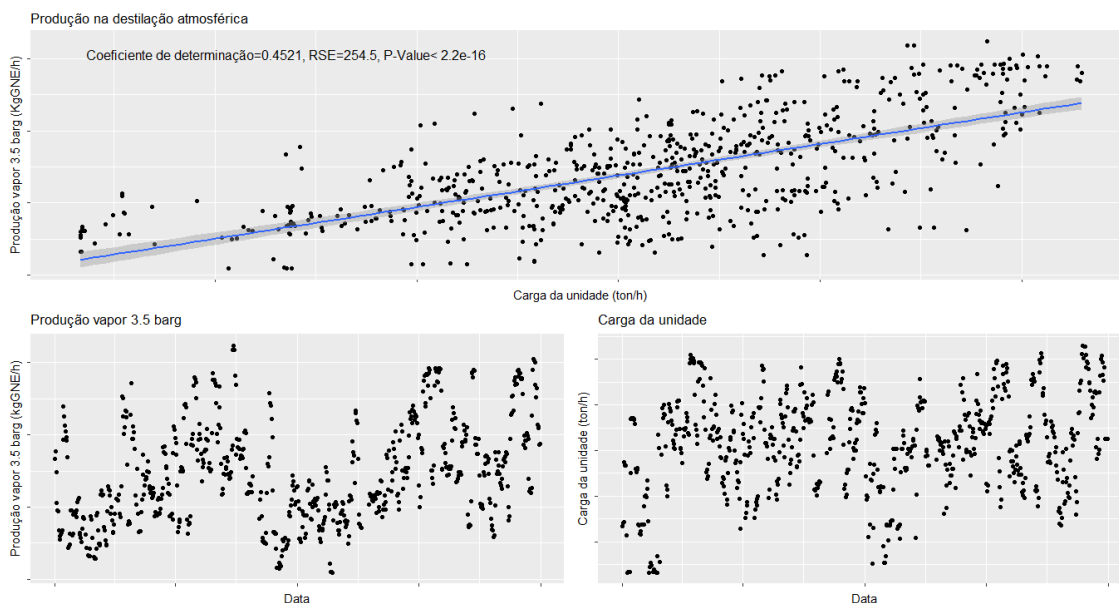


Figura D.1.9-Comportamento da produção 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

Verifica-se através da análise da figura D.1.9, que a produção de vapor 3.5 barg está relacionada de maneira significativa com a quantidade de carga na unidade processual, sendo que quando esta aumenta a produção aumenta. A produção de vapor 3.5 barg está também relacionada de maneira significativa com a temperatura ambiente, sendo esta representada através da figura D.1.10.

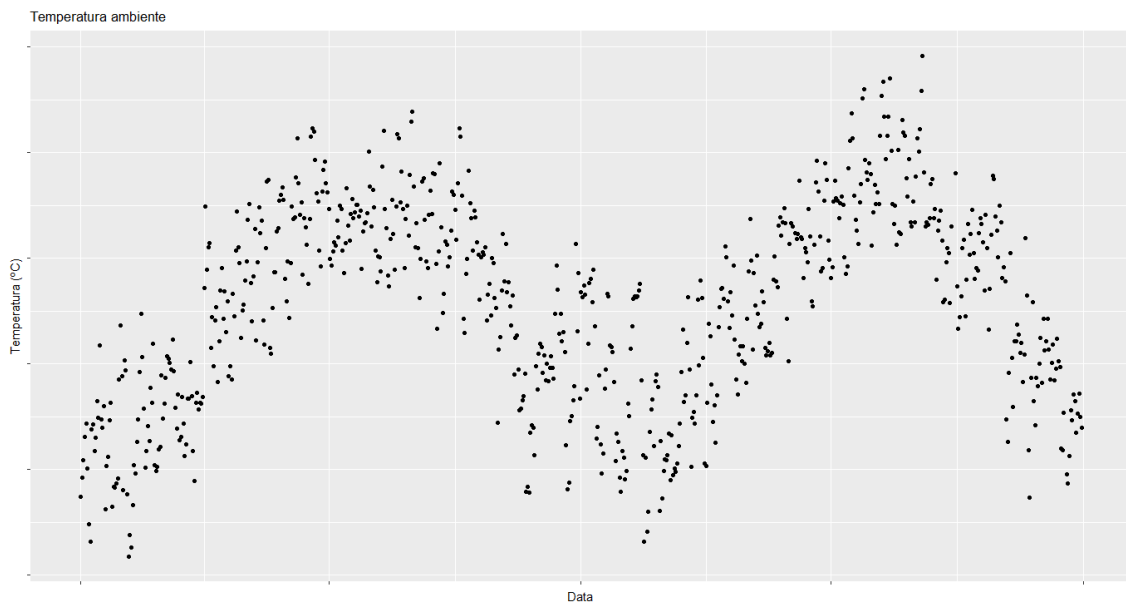


Figura D.1.10-Temperatura ambiente.

Conclui-se que nos meses com temperatura mais elevada existe uma maior produção de vapor 3.5 barg. Apesar de se verificar uma relação significativa entre as duas propriedades, uma regressão multilinear tendo como resposta a produção de vapor 3.5 barg e preditores, a quantidade da carga da unidade e a temperatura ambiente apenas aumentará o coeficiente de determinação de maneira pouco considerável. Deste modo, formou-se um modelo de regressão linear, sendo o único preditor a quantidade de carga da unidade. Foram diferenciados modelos, através do programa simba, para cada tipo de programa de fabrico.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

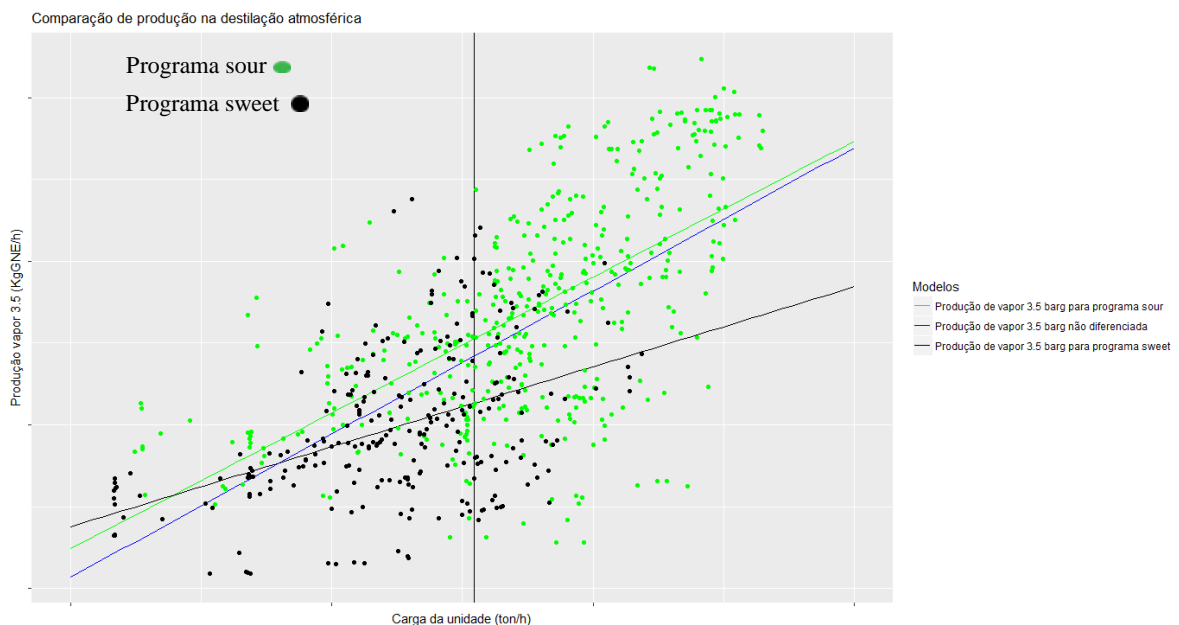


Figura D.1.11-Comparação dos modelos lineares.

Através da análise da figura D.1.11, verifica-se que para todos os modelos obtidos a produção de vapor 3.5 barg aumenta com o aumento da carga da unidade. Através da recta

vertical, representativa da carga nominal média da unidade, conclui-se que o programa *sour* tem uma maior produção de vapor 3.5 barg que o *sweet*.

Consumo de vapor

Após estudados os diferentes tipos de vapor, em termos individuais, estes são associados num só grupo, sendo este estudado através de um raciocínio idêntico ao utilizado nas análises anteriores. Os comportamentos do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade são representados graficamente através da figura D.1.12.

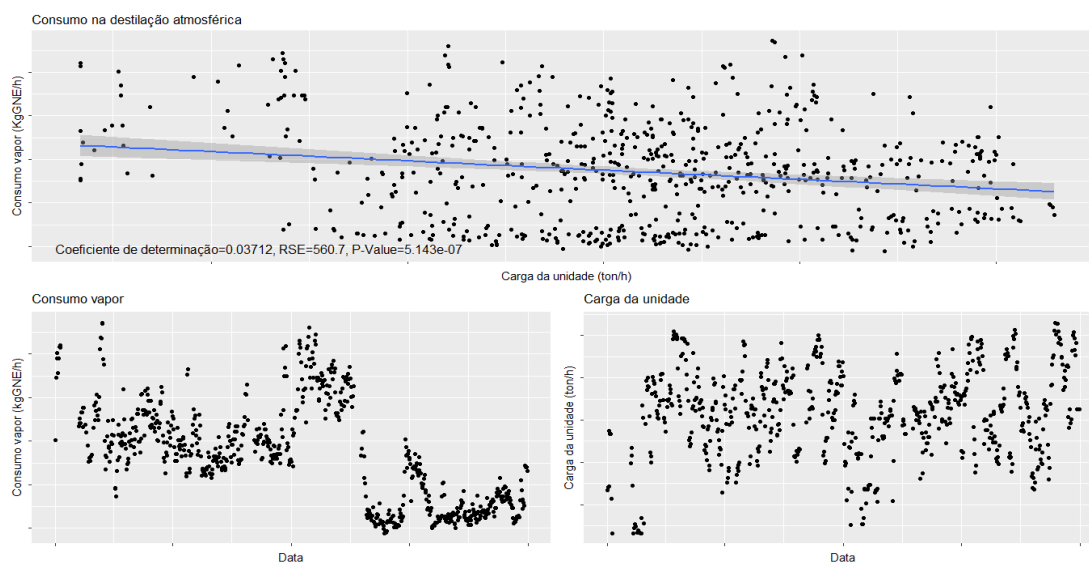


Figura D.1.12-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade.

O comportamento apresentado pela associação de todos os tipos de vapor coincide com o comportamento do vapor 3.5 barg. É utilizado o mesmo raciocínio que na análise do consumo de vapor 3.5 barg, sendo que se obteve os mesmos resultados, ou seja, produziram-se modelos significativamente diferentes em função do tipo de programa de fabrico, através da utilização de dados após junho de 2016. Os modelos obtidos, após a utilização dos testes estatísticos, são apresentados através da figura D.1.13.

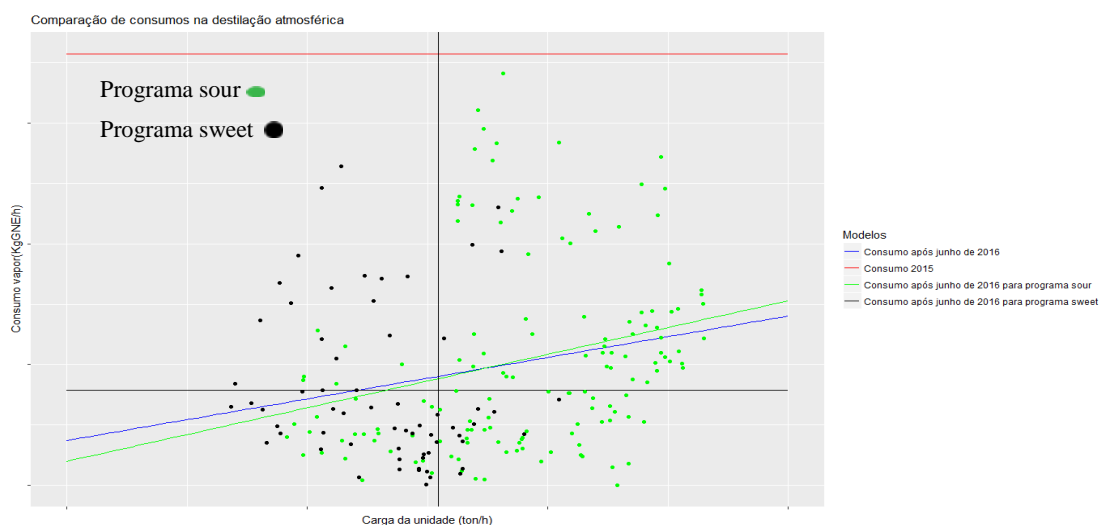


Figura D.1.13-Comparação dos modelos lineares.

Através da análise da figura D.1.13, chegou-se às mesmas conclusões que na análise do consumo de vapor 3.5 barg.

Produção de vapor

De maneira semelhante ao consumo de vapor, foram associados os diferentes tipos de vapor. Seguindo o raciocínio das análises anteriores é representado graficamente, através da figura D.1.14, o comportamento da produção de vapor e da quantidade de carga da unidade.

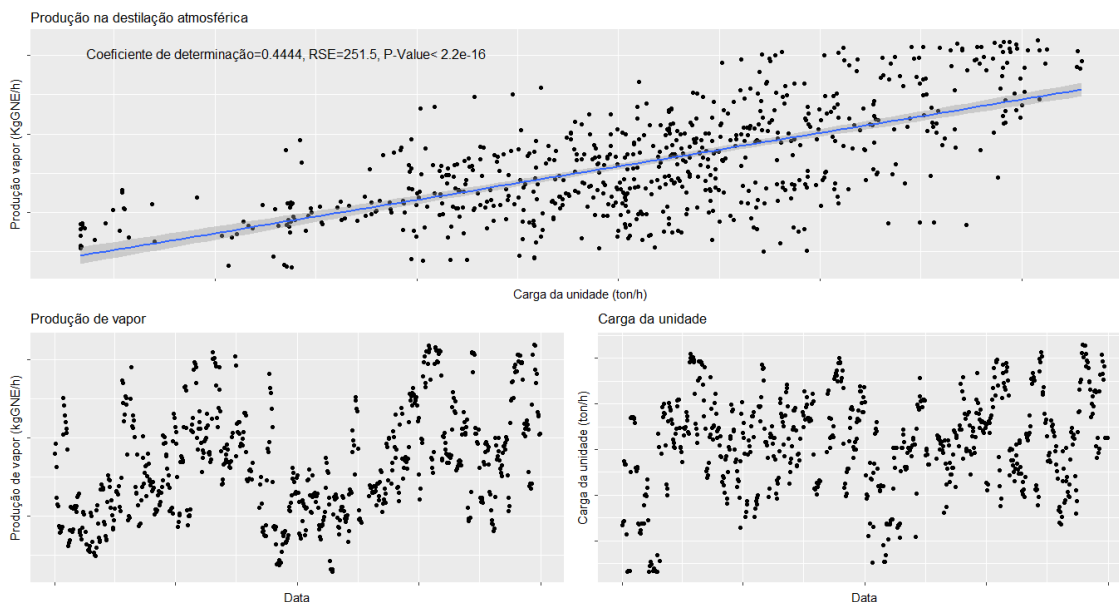


Figura D.1.14-Comportamento da produção de vapor e da quantidade de carga da unidade.

À semelhança da análise realizada ao consumo de vapor, a produção de vapor tem um comportamento semelhante a um determinado tipo de vapor, sendo este o vapor de 3.5 barg. Apesar da produção de vapor 10.5 barg não apresentar qualquer relação com a temperatura ambiente, verifica-se claramente que a produção de vapor verifica essa relação. Na análise desta produção é utilizado o mesmo raciocínio que na análise à produção de vapor 3.5 barg, sendo que se obteve os mesmos resultados que nesta, ou seja, produziram-se modelos lineares significativamente diferentes em função do tipo de programa de fabrico, sendo o preditor a quantidade de carga da unidade. Os modelos obtidos, após a utilização dos testes estatísticos, são representados através da figura D.1.15.

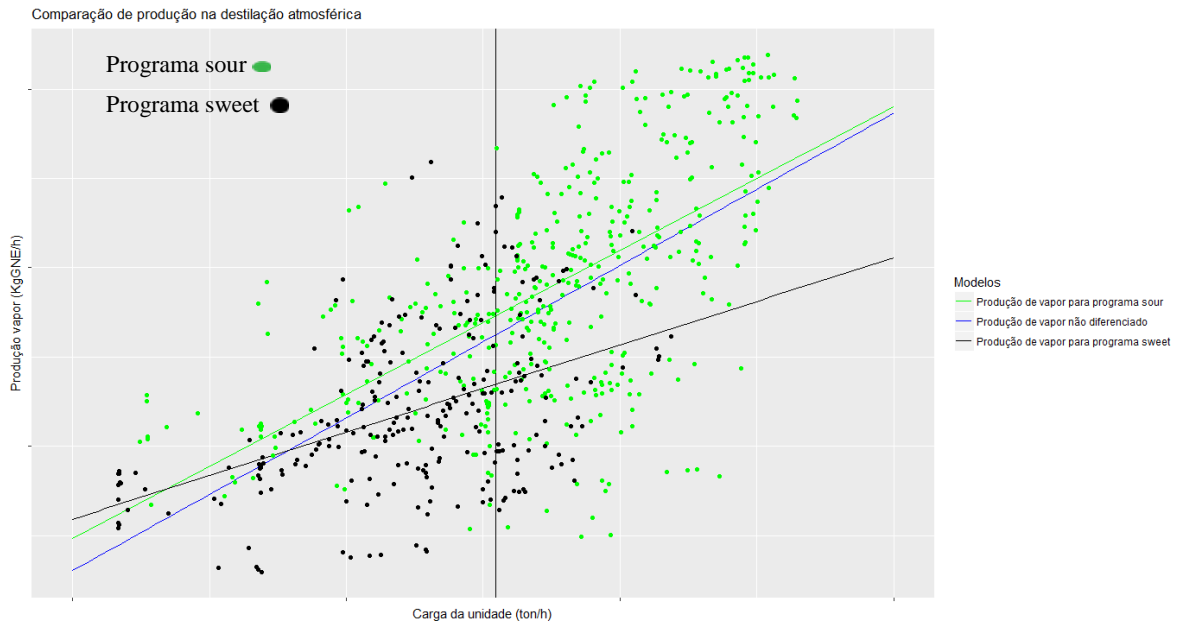


Figura D.1.15-Comparação dos modelos lineares.

Através da análise da figura D.1.15, chegou-se às mesmas conclusões que na análise da produção de vapor 3.5 barg.

Consumo de fuel gás

O fuel gás é consumido nos fornos da destilação atmosférica, representando o maior consumo da unidade. Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.1.16, o comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade.

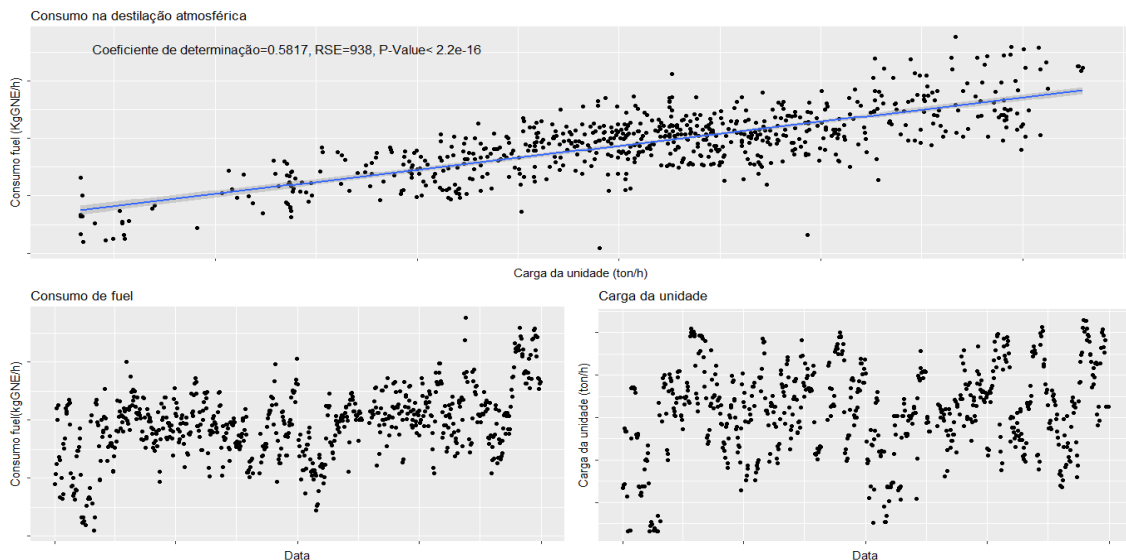


Figura D.1.16-Comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade.

O consumo de fuel gás apresenta uma relação bastante dependente do caudal da carga da destilação atmosférica, sendo que este aumenta quando o caudal aumenta. Apesar do consumo de fuel gás, à semelhança do consumo de vapor 24 barg, apresentar um aumento considerável em outubro de 2016, os modelos produzidos através dos dados posteriores e

anteriores a essa data não foram considerados significativos, sendo que também não foram obtidos modelos significativamente diferentes em função do tipo de programa utilizado.

As temperaturas dos fornos não são consideradas significativas na compreensão do comportamento do consumo de fuel gás, deste modo realizou-se uma análise ao efeito de *fouling*, através da relação linear entre os dias após a última limpeza da unidade e o consumo específico do fuel gás. A figura seguinte representa essa relação.

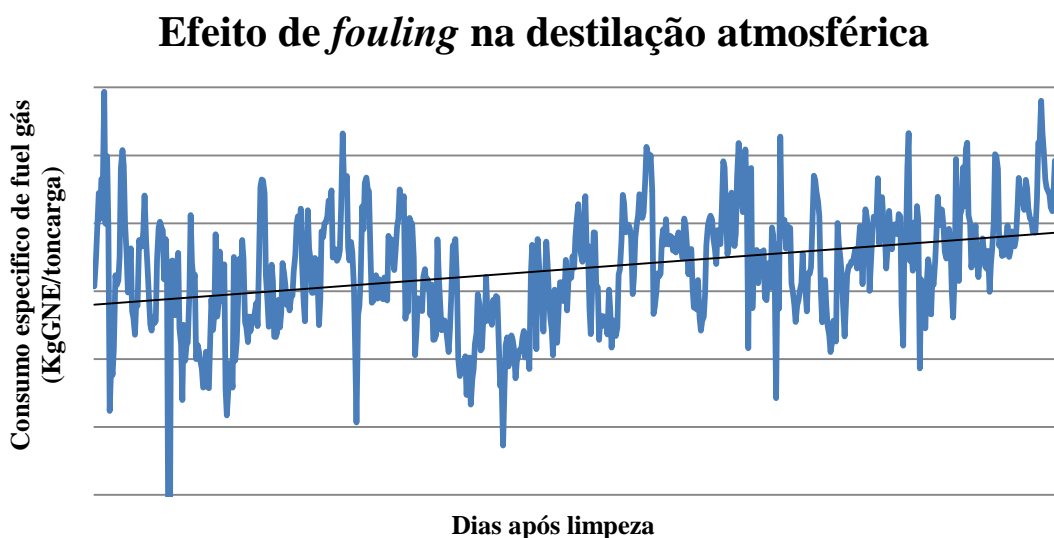


Figura D.1.17-Efeito de *fouling* na destilação atmosférica.

Tendo sido a última limpeza da unidade realizada em Abril de 2014, foram estudados dados até 976 dias após a limpeza, ou seja, 31 de Dezembro de 2016. Através da regressão linear, verifica-se um aumento de 1.85 pontos de EII, consequentemente representando uma perda de 5.46 milhões de euros por ano comparando o primeiro dia após a limpeza com o ultimo dia estudado.

Consumo de eletricidade

A análise da eletricidade nas unidades processuais é considerada como um caso especial, dado que a sua distinção em termos diários é bastante difícil, não existindo qualquer arquivo informático com a acumulação destes valores em termos diários. Por conseguinte, analisaram-se os dados mensais da eletricidade, sendo que a análise destes resultará num modelo com bastante mais erro que os obtidos nas restantes análises.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo médio de eletricidade e da quantidade média de carga da unidade.

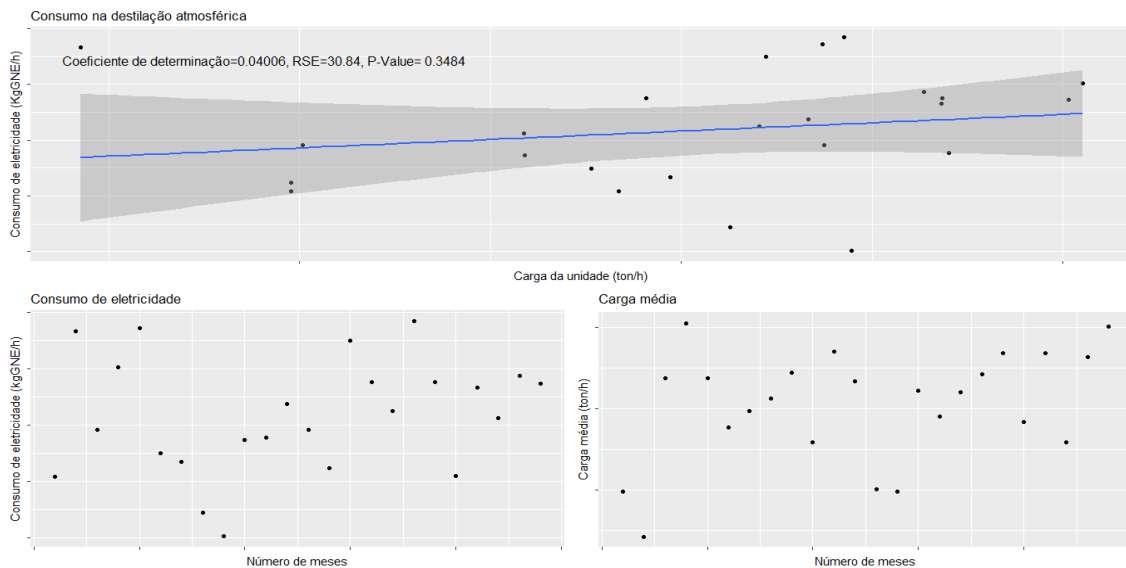


Figura D.1.18-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de carga da unidade.

Sendo o número de dados relativamente baixo, nenhum destes foi eliminado, de modo a dar uma previsão mais realista do comportamento da utilidade. É de notar que devido ao elevado *p-value*, o melhor modelo será uma média dos valores de resposta, ou seja, o consumo de eletricidade não é dependente do caudal da carga.

Consumo bruto

O consumo bruto é um consumo constituído pela associação de todos os consumos na unidade, sendo este estudado através de um raciocínio idêntico ao utilizado nas análises anteriores. O comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade são representados graficamente através da figura D.1.19.

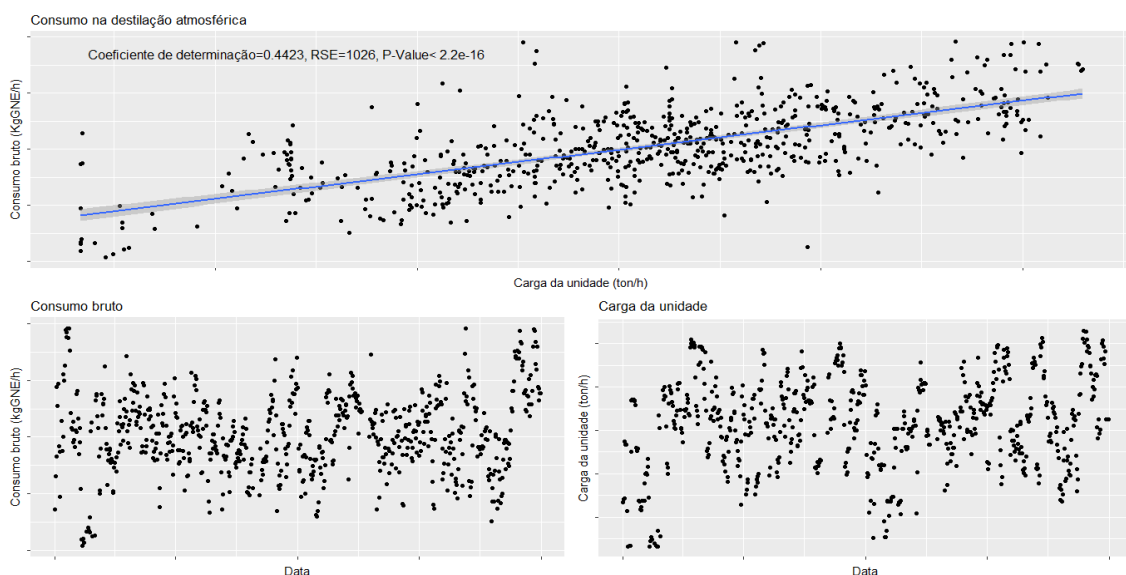


Figura D.1.19-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.1.19, verifica-se que o consumo de fuel gás se sobrepõe aos consumos das restantes utilidades, representando mais de 80% do consumo da unidade

processual. Apesar de se verificar um decréscimo de vapor no mês de abril de 2016, este não é evidente na representação total dos consumos da unidade, devendo-se este facto ao aumento do consumo de fuel gás. O consumo bruto apresenta uma relação significativa com a quantidade de carga da unidade, sendo que quando esta aumenta o consumo também aumenta. De modo semelhante ao consumo de fuel gás, foi analisado se os dados posteriores e anteriores a outubro de 2016 resultariam em modelos significativamente diferentes. Nesta análise, contrariamente ao consumo de fuel gás, foram obtidos dois modelos distintos, explicando-se este acontecimento com o aumento, no mesmo período de tempo, do consumo de vapor 24 barg. Em relação aos dados posteriores outubro de 2016, resultaram modelos significativamente diferentes em função do tipo de programa de fabrico.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos nos seus coeficientes.

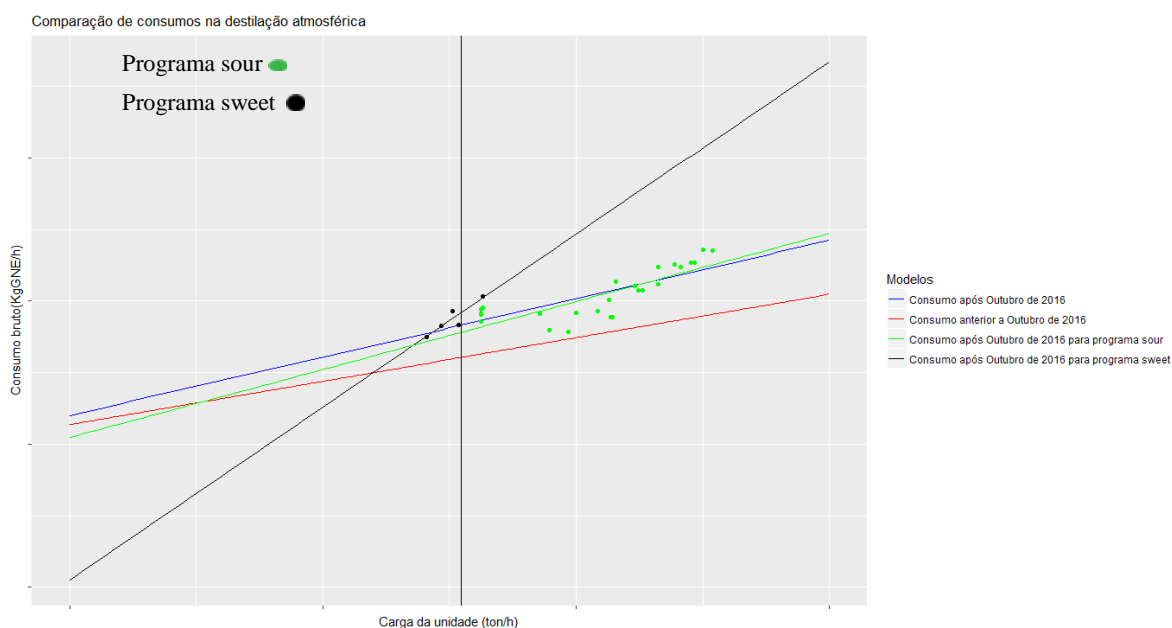


Figura D.1.20-Comparação dos modelos lineares.

Através da análise da figura D.1.20, conclui-se que o aumento da quantidade de carga da unidade causa um aumento do consumo bruto da mesma, sendo que para a carga nominal média os consumos dos dois programas são bastante semelhantes. A diferença destes programas aumenta com o aumento da variação da carga.

Anexo D.2-Destilação de vácuo I

Consumo de vapor 24 barg/Produção de vapor 3.5 barg

O vapor 24 barg é consumido em turbinas, sendo este transformado em vapor 3.5 barg, ou seja, o consumo de vapor 24 barg será idêntico à produção de vapor 3.5 barg. O raciocínio utilizado nesta análise é idêntico ao utilizado na unidade anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

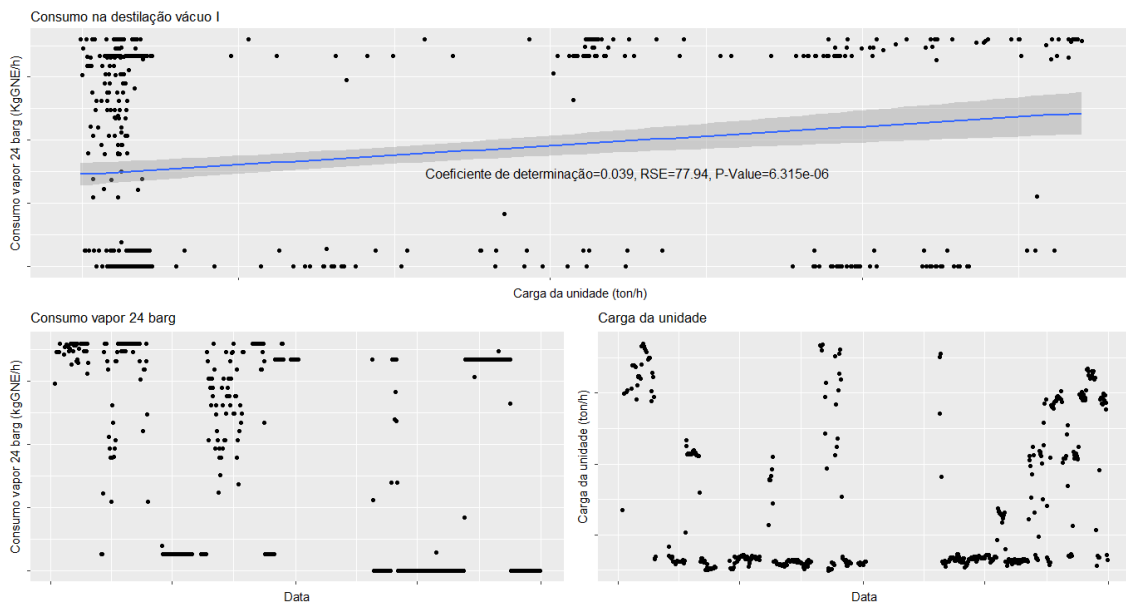


Figura D.2.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

Como se pode verificar o consumo de vapor 24 barg não varia de uma forma gradual, porém estas variações seguem o padrão de operação das turbinas, em que estas vão alterando a sua operação com bombas movidas a motores elétricos. Não existem quaisquer valores entre janeiro de 2016 e abril de 2016. O comportamento do consumo não apresenta qualquer relação com as variáveis explicativas, à exceção do tipo de programa, sendo obtidos dois modelos significativamente diferentes.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

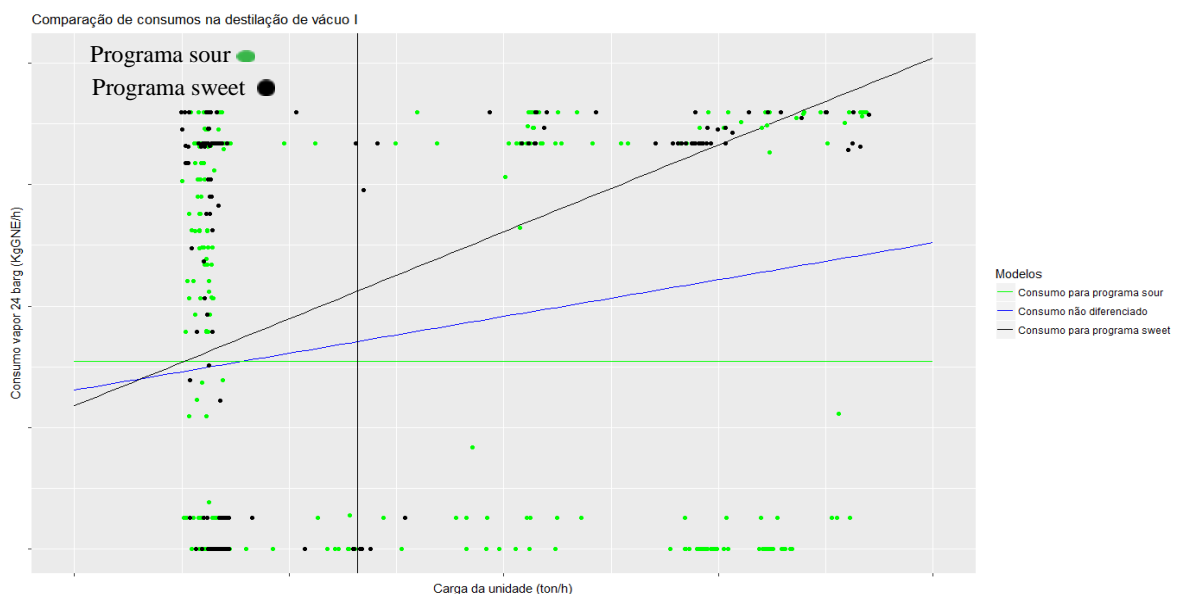


Figura D.2.2-Comparação entre modelos lineares.

Devido à variação elevada dos valores dos consumos de vapor 24 barg para quantidades de carga semelhantes, os modelos produzidos têm um grande erro associado. Observa-se de um modo geral, um aumento do consumo de vapor 24 barg consequente de um aumento da carga.

Consumo de vapor 10.5 barg

O vapor 10.5 barg é consumido no forno e em ejectores. O raciocínio utilizado nesta análise é idêntico ao utilizado na unidade anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

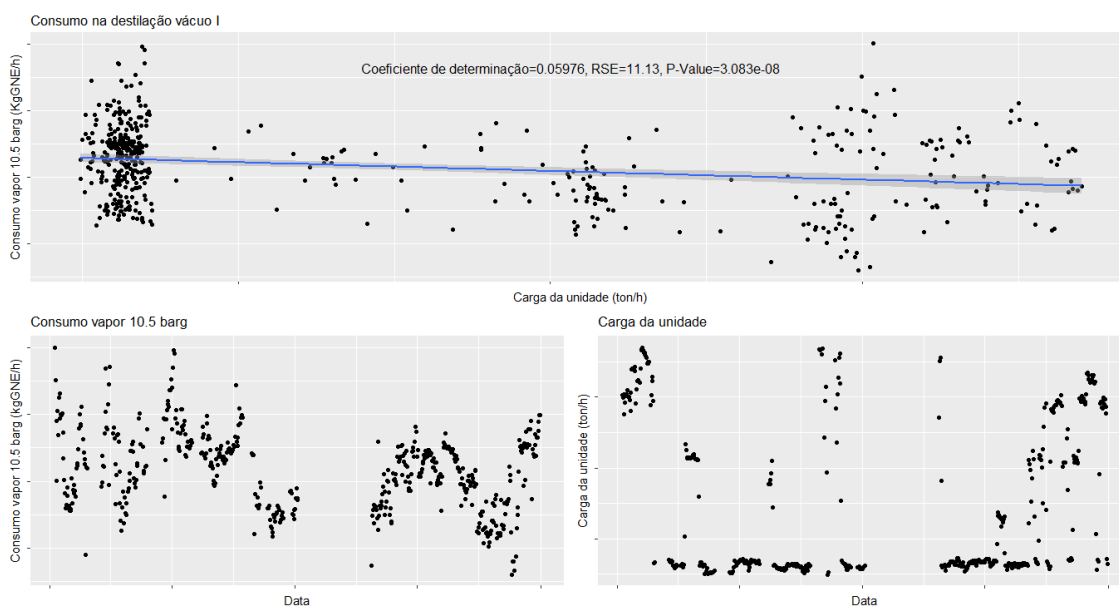


Figura D.2.3-Comportamento do consumo de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.2.3, verifica-se que existe uma grande aglomeração de dados no intervalo de valores com menor caudal de carga na unidade, o que se deve ao facto da unidade ter uma limitação física quanto ao valor do mesmo. Através da análise dos dados, após e antes paragem, verifica-se que os dados não apresentam alterações consideráveis. A partir do pacote simba não se verificam modelos significativamente diferentes alterando o tipo de programa de fabrico. Conclui-se assim que o consumo de vapor 10.5 barg dependerá apenas da quantidade de carga da unidade, sendo que o consumo diminui com o aumento da carga.

Produção de vapor 10.5 barg

O vapor 10.5 barg é produzido nos geradores de vapor. O raciocínio utilizado nesta análise é idêntico ao utilizado na análise anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento da produção de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

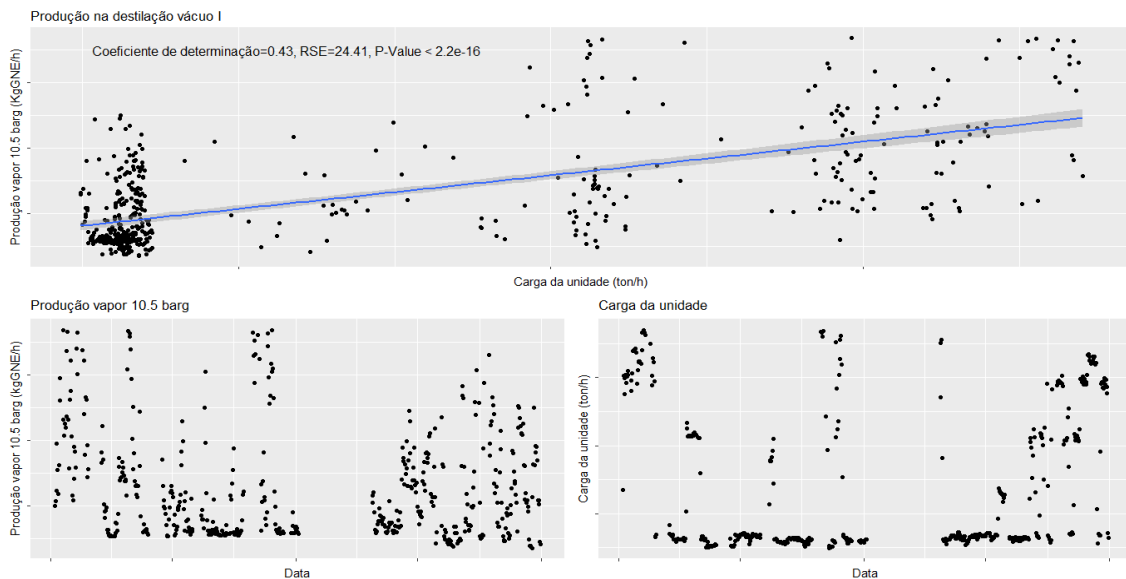


Figura D.2.4-Comportamento da produção de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.2.4, à semelhança da análise anterior, verifica-se que existe uma grande aglomeração de dados no intervalo de valores com menor caudal de carga na unidade, sendo que a produção de vapor 10.5 barg só se relaciona de forma significativa com a quantidade de carga da unidade. Em oposição à análise anterior, a produção de vapor aumenta com o aumento de carga.

Consumo de vapor 3.5 barg

O vapor 3.5 barg é consumido na stripagem da coluna de destilação, sendo o seu consumo bastante inferior em relação aos restantes tipos de vapor. O raciocínio utilizado nesta análise é idêntico ao utilizado na análise anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

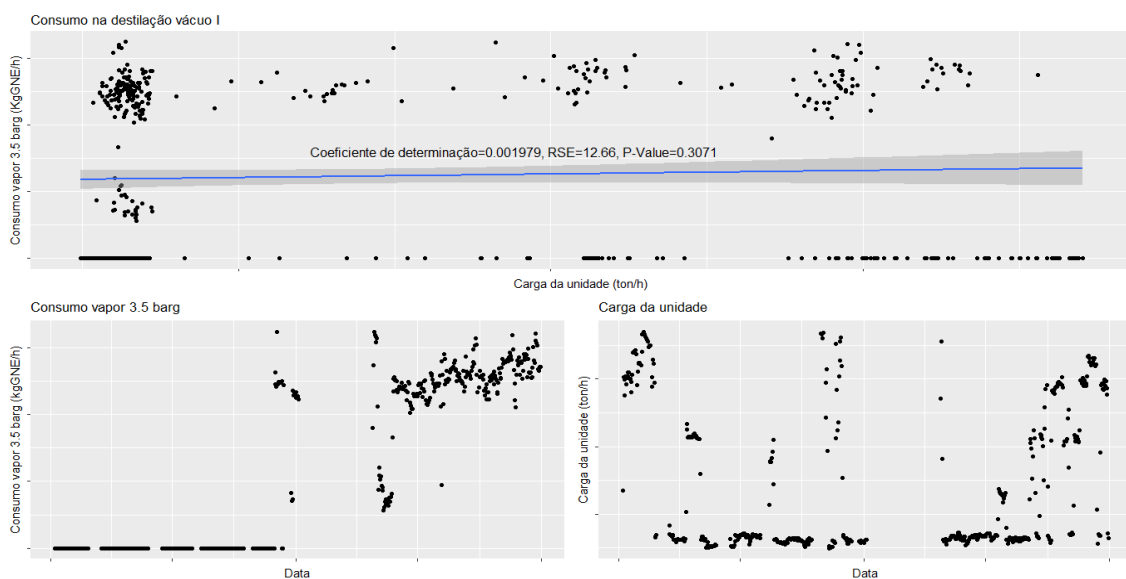


Figura D.2.5-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

No mês de dezembro de 2015 ocorreu uma ativação do consumo de vapor 3.5 barg, sendo essencial analisar o modelo após o começo de Janeiro de 2016. Os dados após julho de 2016 foram utilizados de modo a produzir modelos significativamente diferentes em função do tipo de programa de fabrico utilizado.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos nos seus coeficientes.

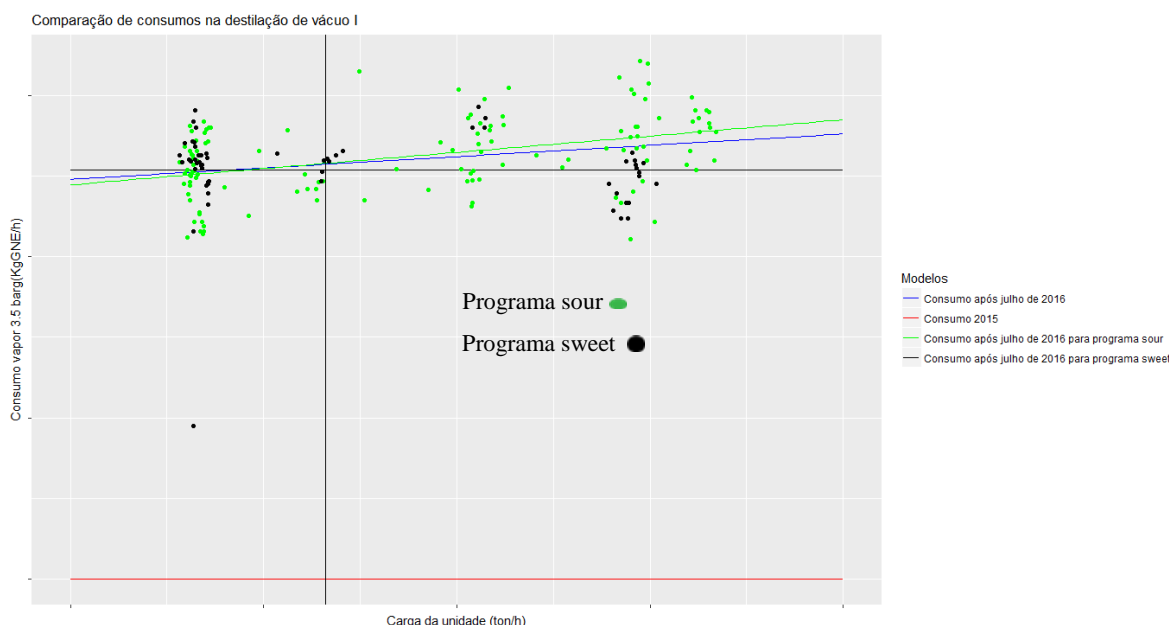


Figura D.2.6-Comparação entre modelos lineares.

Verifica-se que o consumo de vapor 3.5 barg varia de forma significativa quando utilizados programas de fabrico diferentes, sendo que, de uma forma global, o consumo de vapor 3.5 barg aumenta com o aumento da quantidade de carga da unidade.

Consumo de vapor

Após estudados os diferentes tipos de vapor, em termos individuais, estes são associados num só grupo, sendo este estudado através de um raciocínio idêntico ao utilizado nas análises anteriores. O comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade são representados graficamente através da figura D.2.7.

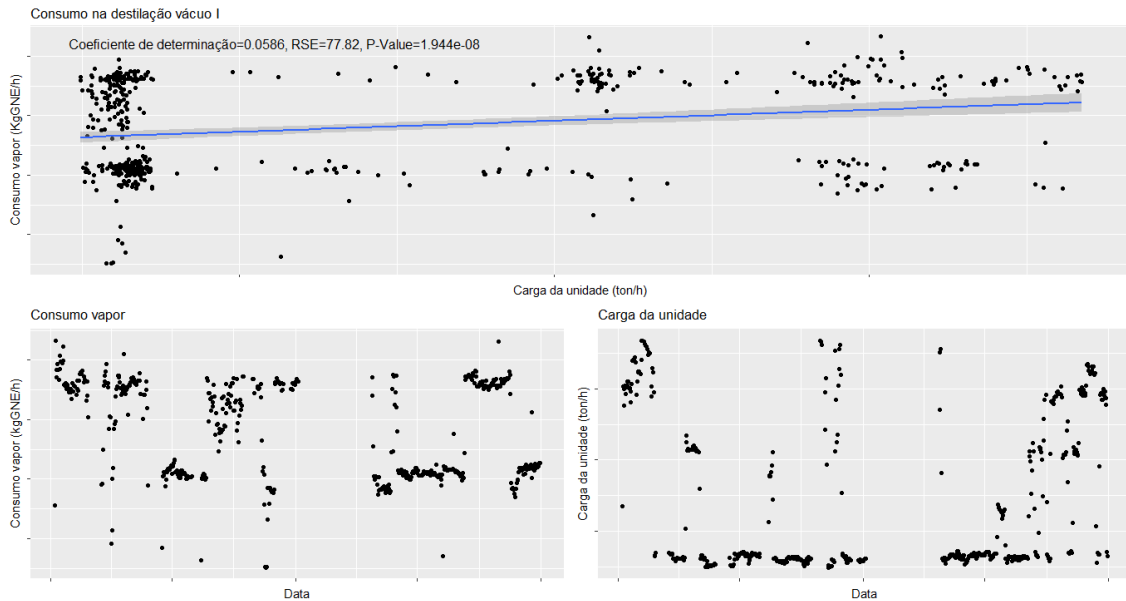


Figura D.2.7-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade.

Apesar do consumo de vapor 10.5 barg constituir a maioria do consumo de vapor na unidade processual, o comportamento deste é idêntico ao consumo de vapor 24 barg, dado que este apresenta uma variação elevada, enquanto que o consumo de vapor 10.5, apesar de elevado, não contém uma variação considerável. Uma vez que as alterações nos consumos de vapor são consequência directa do modo de operação das turbinas, os dados não são repartidos por nenhum período de tempo, porém são formados modelos significativamente diferentes, em função dos diferentes tipos de programa de fabrico.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos nos seus coeficientes.

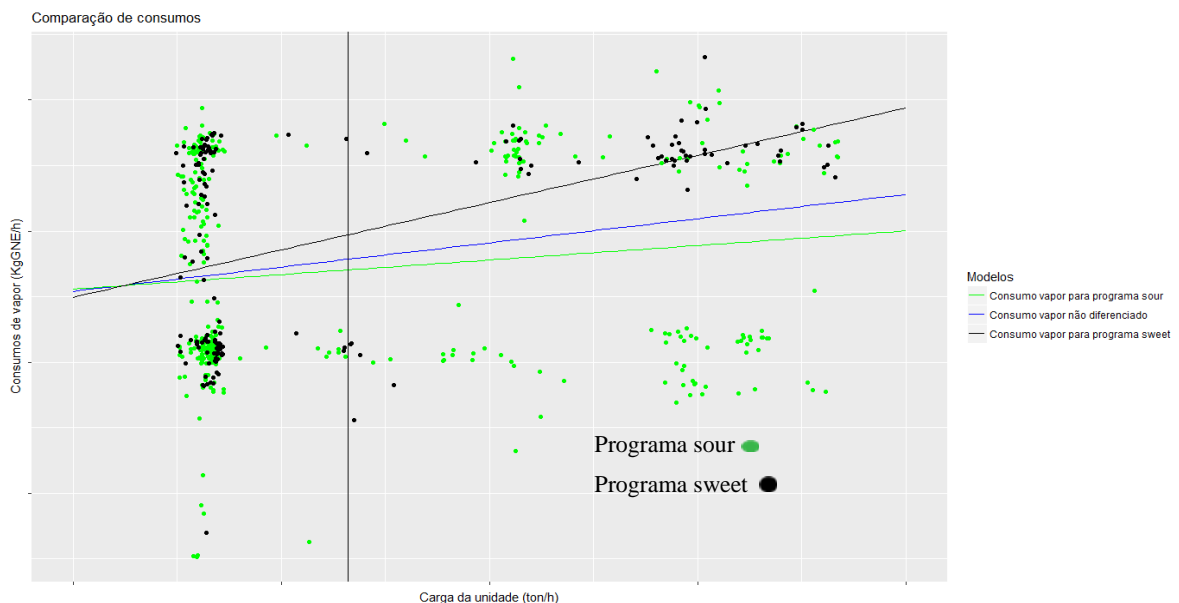


Figura D.2.8-Comparação entre modelos lineares.

À semelhança do consumo de vapor 24 barg, a variabilidade do consumo de vapor para quantidades semelhantes de carga é bastante elevada, sendo de se esperar que os modelos produzidos contenham um erro associado elevado. Apesar do erro, é de se esperar, através da

análise dos diferentes modelos que o consumo de vapor aumente com o aumento da quantidade de carga. Além da quantidade de carga, o consumo de vapor depende do tipo de programa.

Produção de vapor

De maneira semelhante ao consumo de vapor, foram associados os diferentes tipos de vapor. Seguindo o raciocínio das análises anteriores é representado graficamente, através da figura D.2.9, o comportamento da produção de vapor e da quantidade de carga da unidade.

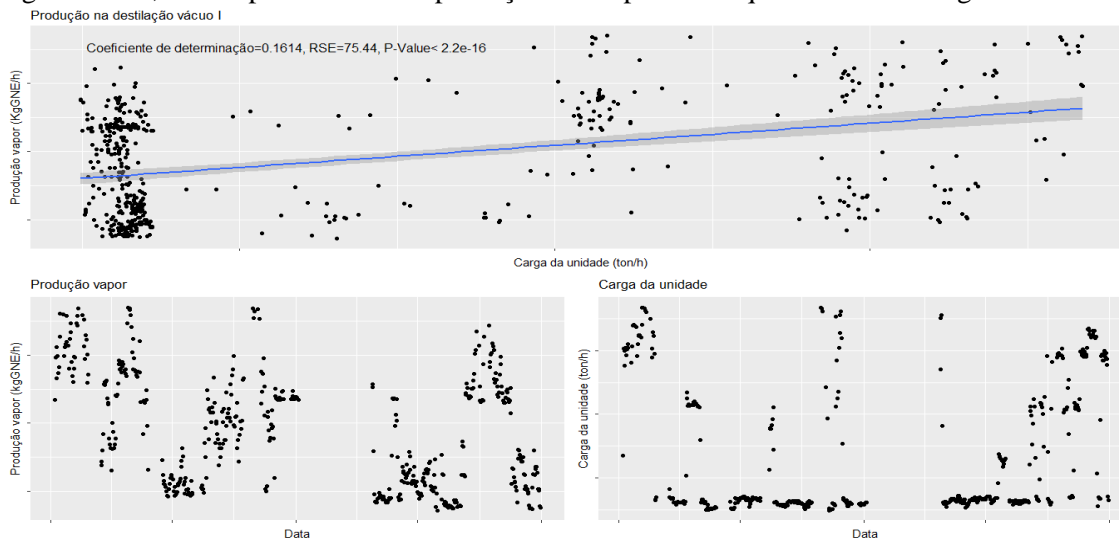


Figura D.2.9-Comportamento da produção de vapor e da quantidade de carga da unidade.

De modo semelhante ao consumo de vapor, o comportamento da produção de vapor da unidade é condicionado pela operação das turbinas. Através do mesmo raciocínio utilizado no consumo de vapor são formados modelos significativamente diferentes, em função dos diferentes tipos de programa de fabrico.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos nos seus coeficientes.

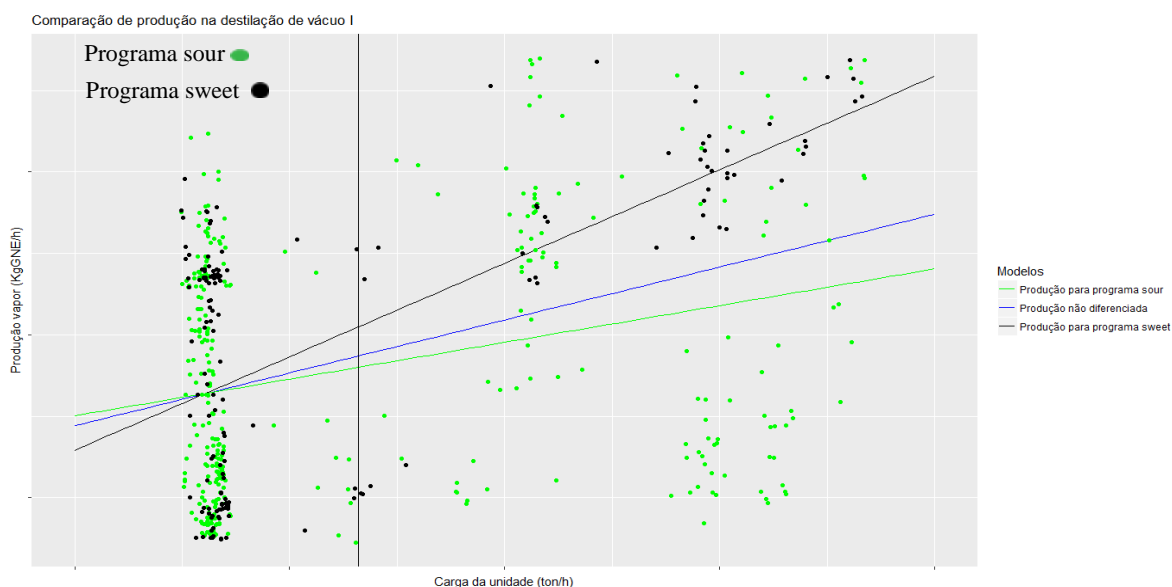


Figura D.2.10-Comparação entre modelos lineares.

À semelhança da produção de vapor 3.5 barg, a variação do consumo de vapor para quantidades de carga semelhantes é bastante elevada, sendo de se esperar que os modelos produzidos contenham um grande erro associado. Apesar do erro, é de esperar, através da análise dos diferentes modelos obtidos, que a produção de vapor aumente com o aumento da quantidade de carga. Além da quantidade de carga, o consumo de vapor só se altera, quando se diferencia o tipo de programa.

Consumo de fuel gás

O fuel gás é consumido nos fornos da destilação, constituindo este o maior consumo da unidade. Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores é representado graficamente, através da figura D.2.11, o comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade.

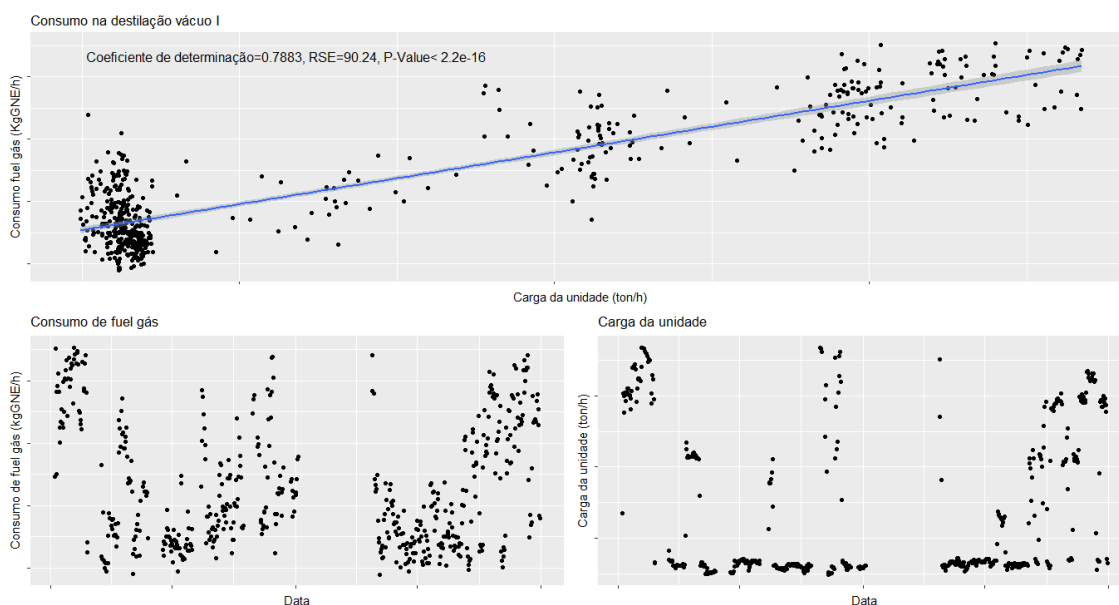


Figura D.2.11-Comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade.

O consumo de fuel gás relaciona-se apenas de uma maneira significativa com a quantidade de carga, sendo que não existe uma relação significativa nem com a temperatura do forno, nem com a quantidade de resíduo produzido. Foi realizada uma análise aos dados após e antes a paragem, chegando-se à conclusão que estes produzem modelos significativamente diferentes, porém nenhum destes produz modelos significativamente diferentes, dependendo do tipo de programa de fabrico utilizado.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos nos seus coeficientes.

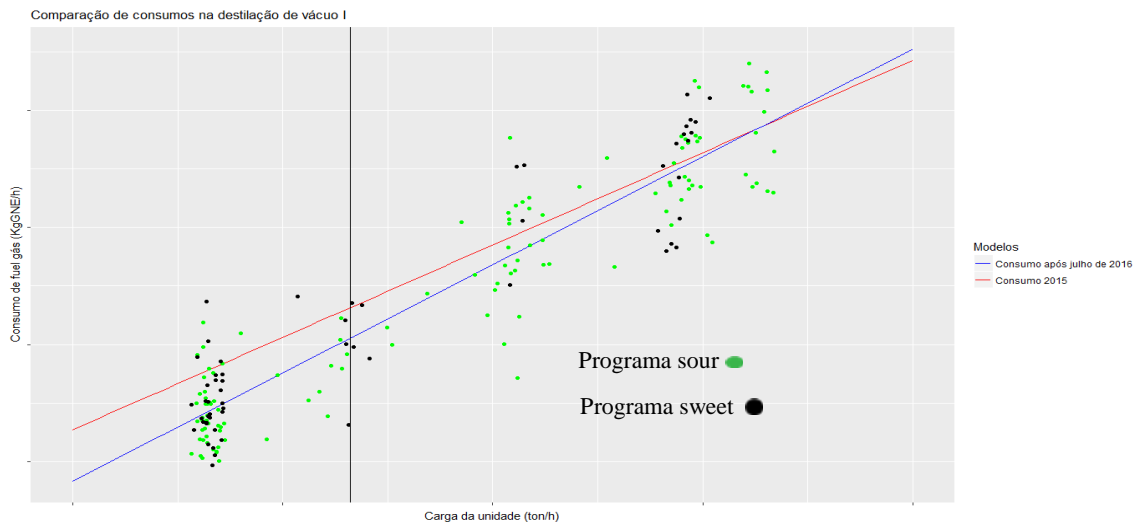


Figura D.2.12-Comparação entre modelos lineares.

Apesar da variabilidade do consumo de fuel gás ser bastante elevada para quantidades de carga semelhantes, é bastante perceptível que este tende a aumentar com o aumento da quantidade de carga, sendo que as restantes variáveis explicativas não têm influencia significativa na variação deste.

Consumo de off gás

De modo semelhante ao fuel gás, o off gás é consumido nos fornos da destilação. Através do raciocínio utilizado no fuel gás, é representado graficamente, através da figura D.2.13, o comportamento do consumo de off gás e da quantidade de carga da unidade.

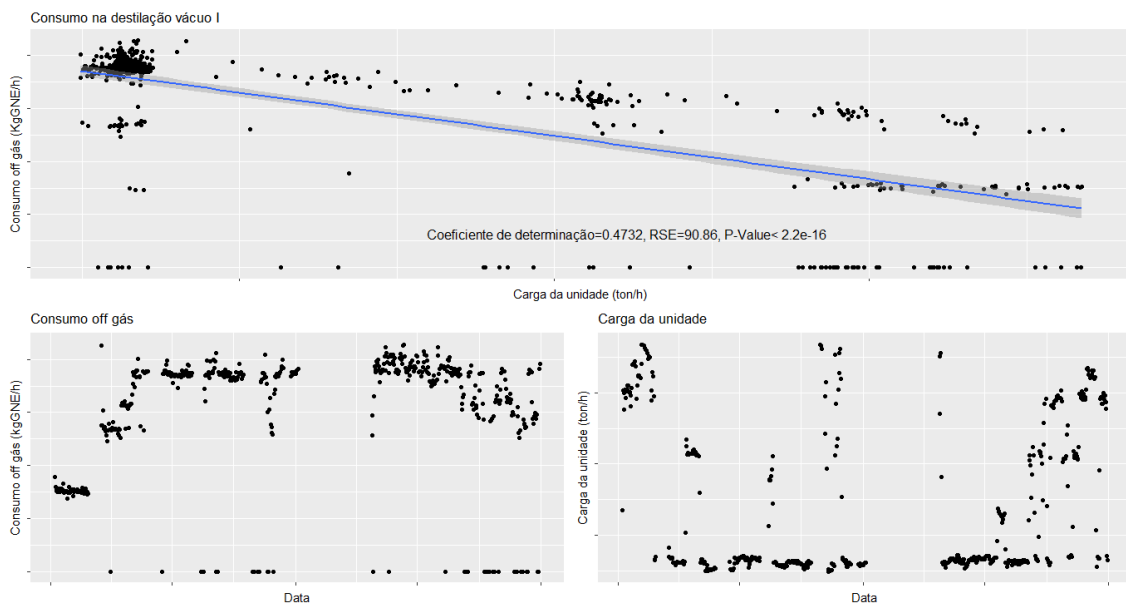


Figura D.2.13-Comportamento do consumo de off gás e da quantidade de carga da unidade.

Analisando o comportamento do consumo da utilidade, conclui-se que o off gás, ao longo do tempo de análise, tem várias paragens, sendo nulo inúmeras vezes. Foram produzidos dois modelos significativamente diferentes utilizando os dados anteriores e posteriores à paragem. A partir dos dois grupos de dados foram criados modelos que distinguem o tipo de programa de fabrico de forma significativa.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos nos seus coeficientes.

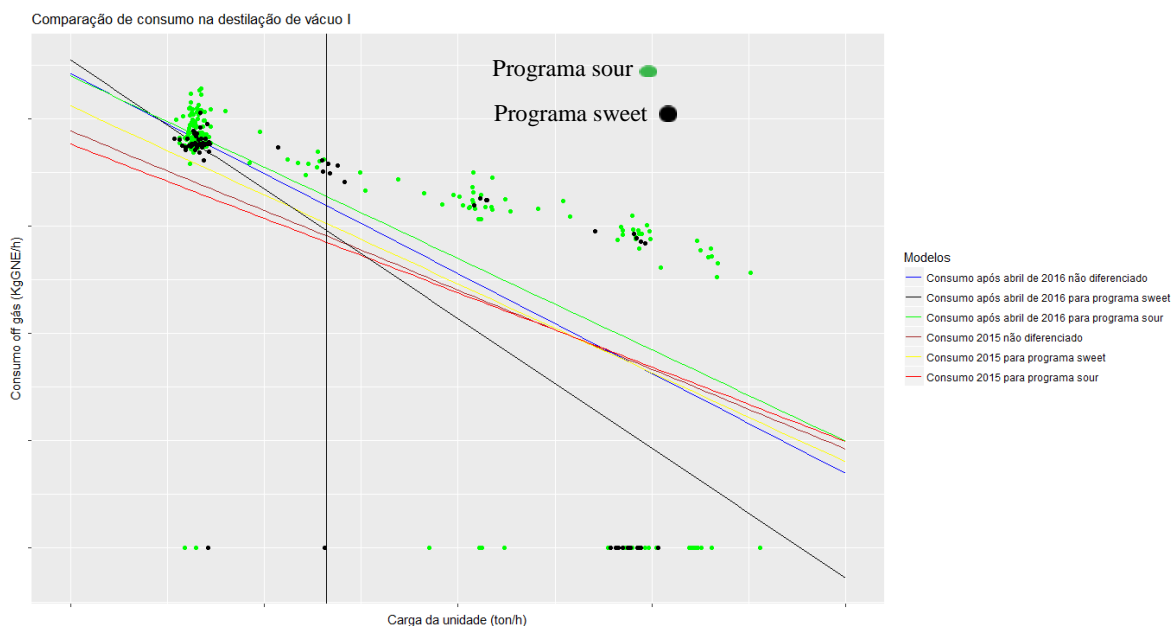


Figura D.2.14-Comparação entre modelos lineares.

Quando existe consumo de off gás verifica-se que este diminui com o aumento da quantidade de carga da unidade. Apesar de fornecer um erro ao modelo, os modelos obtidos prevêm o consumo de off gás com base não só quando o off gás está a ser consumido, mas também quando este se encontra nulo, de modo a dar uma perspectiva mais real do comportamento do consumo. Com a exceção da quantidade de carga e do tipo de programa, o consumo de off gás não se relaciona com mais nenhuma variável explicativa.

Consumo de Combustível

De maneira semelhante ao consumo de vapor, foram associados os diferentes tipos de combustíveis. Seguindo o raciocínio das análises anteriores é representado graficamente, através da figura D.2.15, o comportamento do combustível e da quantidade de carga da unidade.

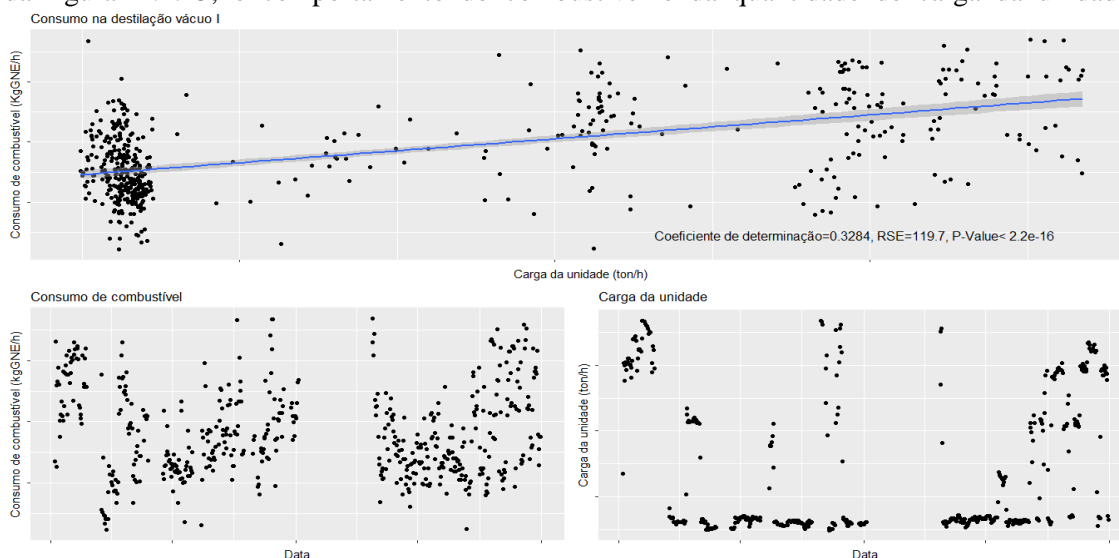


Figura D.2.15-Comportamento do consumo de combustível e da quantidade de carga da unidade.

Analisando a figura D.2.15, verifica-se que o consumo de combustível atua de forma semelhante ao consumo de fuel gás, sendo que o consumo de off gás atenua o comportamento do fuel gás para dados anteriores à paragem da unidade. Dado que o consumo de off gás e de fuel gás apresentam dois modelos significativamente diferentes para dados anteriores e posteriores à paragem, analisaram-se estes quanto ao combustível. No entanto, verificou-se que os modelos formados não são significativamente diferentes entre si. Além do mais, também se analisou os modelos obtidos para diferentes tipos de programa de fabrico, mas concluiu-se que estes são semelhantes. O efeito de *fouling* nesta unidade não é significativo na variação do consumo de combustível. Em suma, o consumo de combustível depende apenas da quantidade de carga da unidade.

Consumo de eletricidade

Através do raciocínio utilizado na destilação atmosférica analisou-se o comportamento do consumo médio de eletricidade e da quantidade média de carga da unidade. Estes são representados através da figura D.2.16.

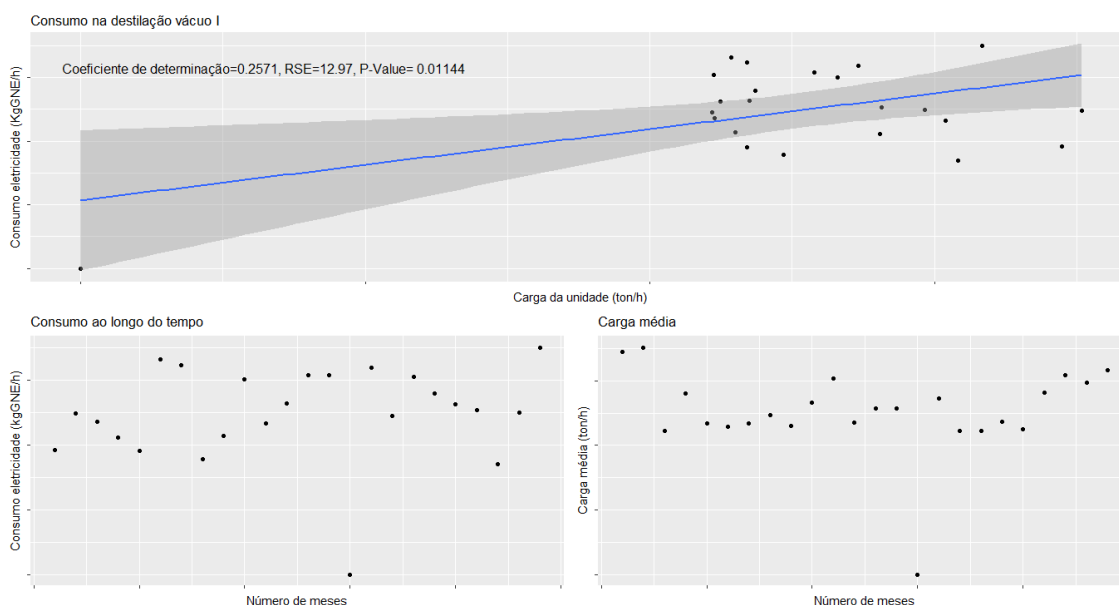


Figura D.2.16-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de carga da unidade.

Em termos de comparação, verifica-se que o modelo utilizado para explicar o comportamento da eletricidade na destilação de vácuo I apresenta um erro muito menor ao utilizado na destilação atmosférica, sendo que o p-value apresenta um valor menor que 0.05, concluindo assim que o consumo de eletricidade na unidade aumenta com o aumento da quantidade de carga da unidade.

Consumo bruto

Através do raciocínio utilizado na destilação atmosférica analisou-se o comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade. Estes são representados através da figura D.2.17.

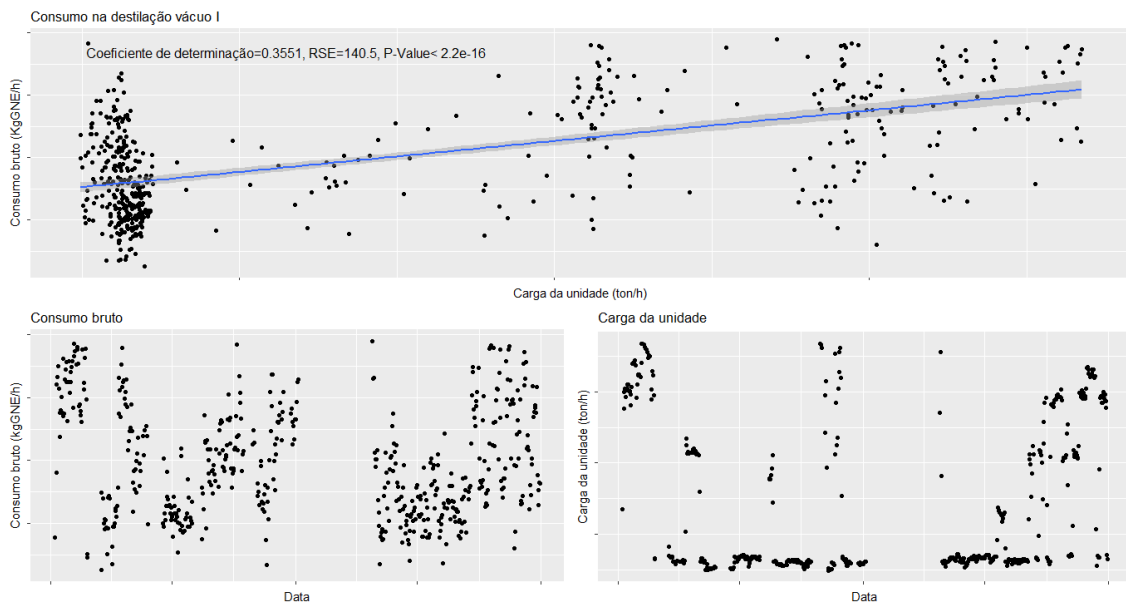


Figura D.2.17-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade.

Apesar do consumo de vapor apresentar variações elevadas estas são atenuadas através da junção do consumo de combustível, sendo que este representa a maior parcela de consumo da unidade. À semelhança das análises anteriores foram analisados os dados anteriores e posteriores à paragem, sendo que, neste caso, estes formam dois modelos significativamente diferentes, porém nenhum destes grupos forma modelos significativamente diferentes quanto à distinção do tipo de programa de fabrico.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos nos seus coeficientes.

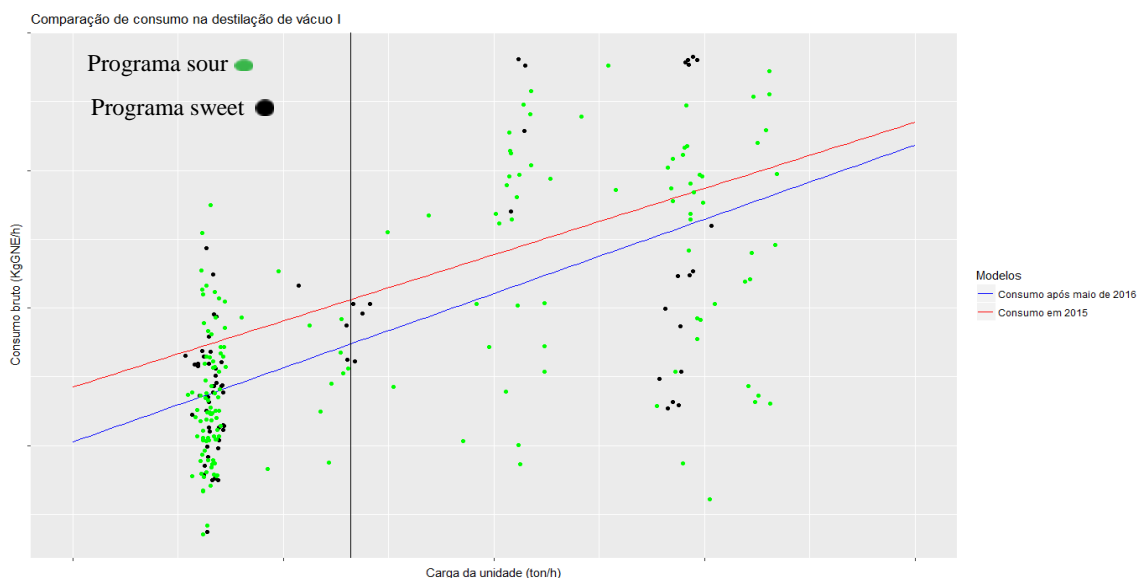


Figura D.2.18-Comparação de modelos lineares.

Verifica-se uma variação bastante elevada do consumo bruto, em relação a quantidades de carga semelhantes, o que se deve essencialmente à constante alteração entre a utilização de turbinas e de bombas com motores elétricos, assim como da variabilidade do consumo de fuel gás. Através da análise aos modelos lineares, conclui-se que o consumo bruto aumenta com o aumento da quantidade de carga da unidade.

Anexo D.3-Destilação de vácuo II

Consumo de vapor 24 barg

O vapor 24 barg é consumido no forno. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado na unidade anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

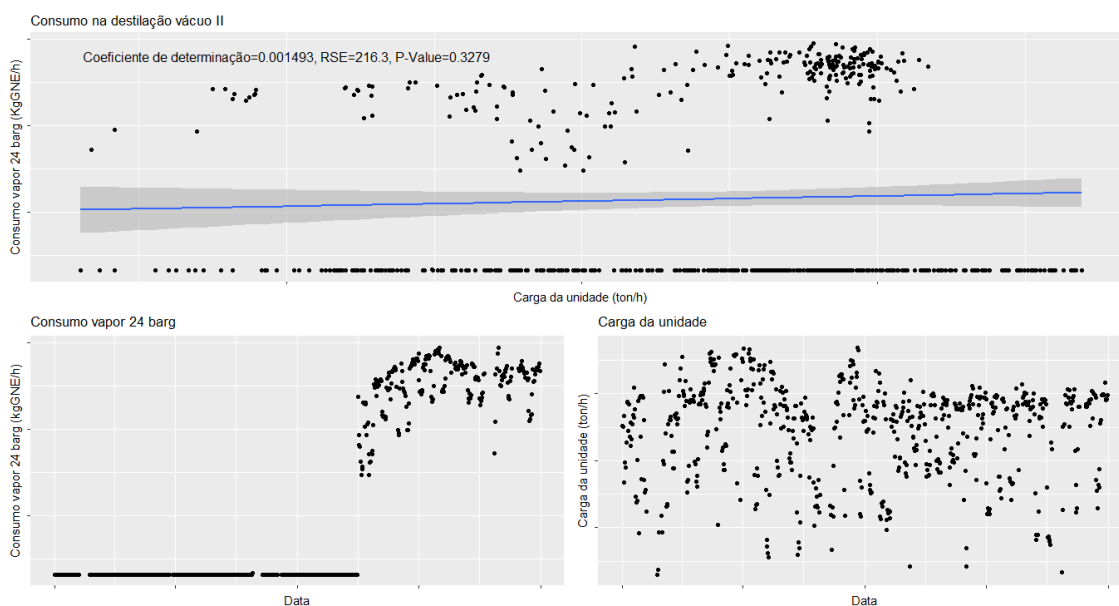


Figura D.3.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

Ocorreu uma alteração considerável em abril de 2016, sendo que o valor do consumo passou de constante para variável. Este aumento deve-se à diminuição do consumo de combustível no forno. Deste modo, foram formados, a partir de dados após e antes abril de 2016, modelos significativamente diferentes, sendo os dados após essa alteração utilizados para se formarem modelos significativamente diferentes em função dos diferentes tipos de programa.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos nos coeficientes dos modelos.

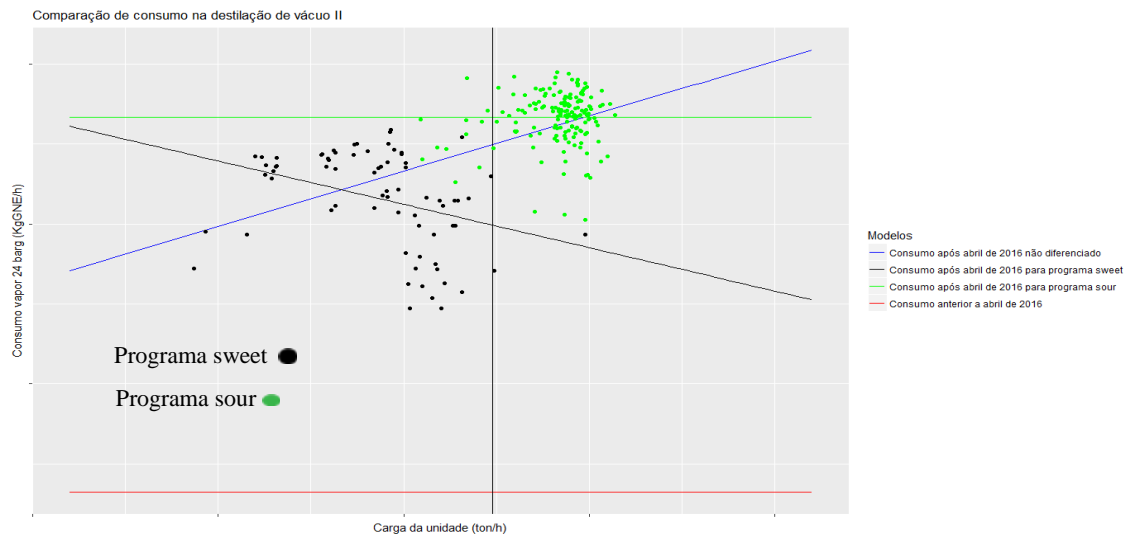


Figura D.3.2-Comparação entre modelos lineares.

Através da análise das figuras D.3.1 e D.3.2, conclui-se que o consumo de vapor 24 barg apresenta apenas relações significativas com o tipo de programa de fabrico e a quantidade de carga da unidade. Os dois tipos de programas encontram-se separados de forma bastante significativa, sendo os pontos *sour*, pontos com maior carga e maior consumo. No entanto, devido à sua concentração num intervalo reduzido, chega-se à conclusão que para o programa *sour* o consumo não depende da quantidade de carga, enquanto que o programa *sweet* indica que o consumo de vapor diminui com o aumento da carga. Observando o consumo de uma forma não diferenciada quanto ao tipo de programa de fabrico utilizado, chega-se à conclusão que este aumenta com o aumento da carga.

Consumo de vapor 10.5 barg

O vapor 10.5 barg é consumido no forno, sendo este o consumo de vapor de menor quantidade. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado na unidade anterior.

A figura seguinte representa o comportamento do consumo de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

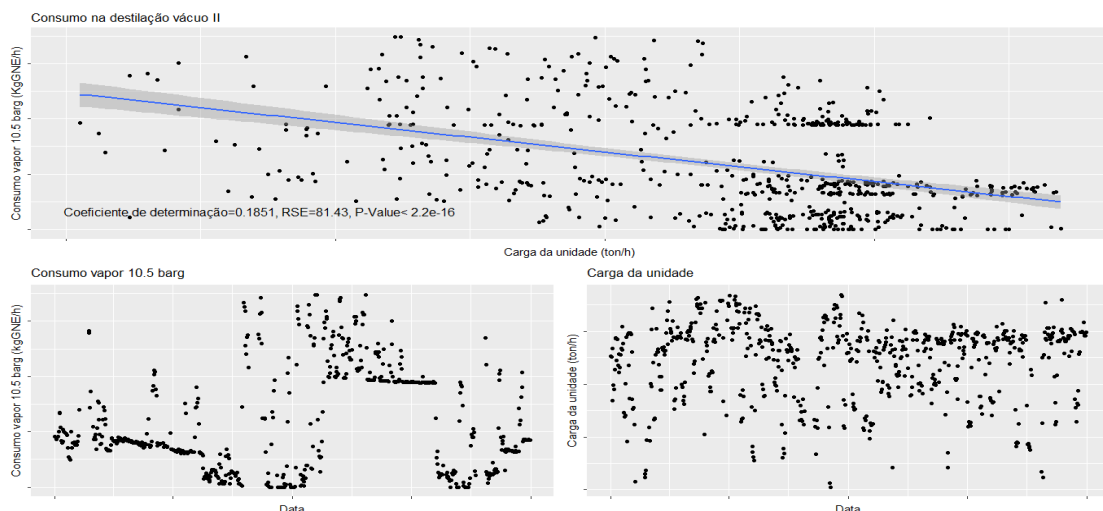


Figura D.3.3-Comportamento do consumo de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

De modo semelhante ao consumo de vapor 24 barg, o consumo de vapor 10.5 barg aumentou de forma considerável em abril de 2016, tendo este sido causado pela diminuição do consumo de fuel gás. No entanto, em agosto de 2016 ocorreu uma diminuição do consumo de vapor 10.5 barg. Após a análise dos dados, apesar do erro do estudo, concluiu-se que o consumo de vapor apenas depende da quantidade de carga da unidade, sendo que quando esta aumenta o consumo diminui.

Consumo de vapor 3.5 barg

O vapor 3.5 barg é consumido principalmente nos ejectores. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado na unidade anterior.

A figura seguinte representa o comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

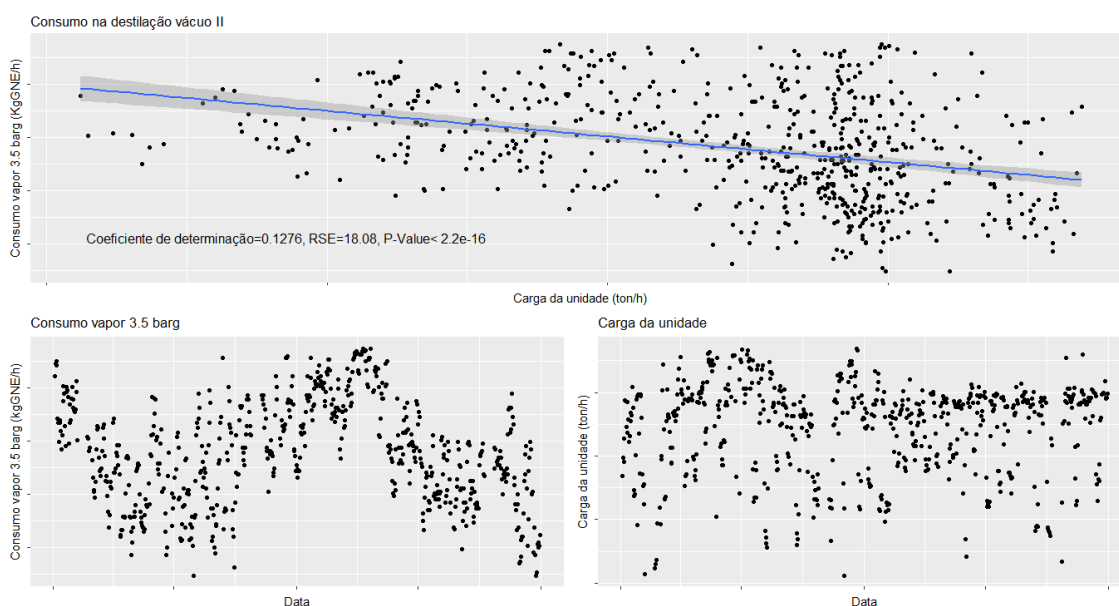


Figura D.3.4-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

Através da figura D.3.4, observa-se uma variação elevada do consumo para uma carga semelhante, sendo que a quantidade de carga se mantém constante ao longo do tempo de estudo, porém o consumo de vapor 3.5 barg aumenta de forma gradual até abril de 2016, diminuindo após esse período. Apesar de existir uma mudança no comportamento do consumo de vapor 3.5 barg, antes e após abril de 2016, os modelos produzidos são semelhantes. Utilizando todos os dados de análise, são produzidos modelos significativamente diferentes em função do tipo de programa de fabrico utilizado.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

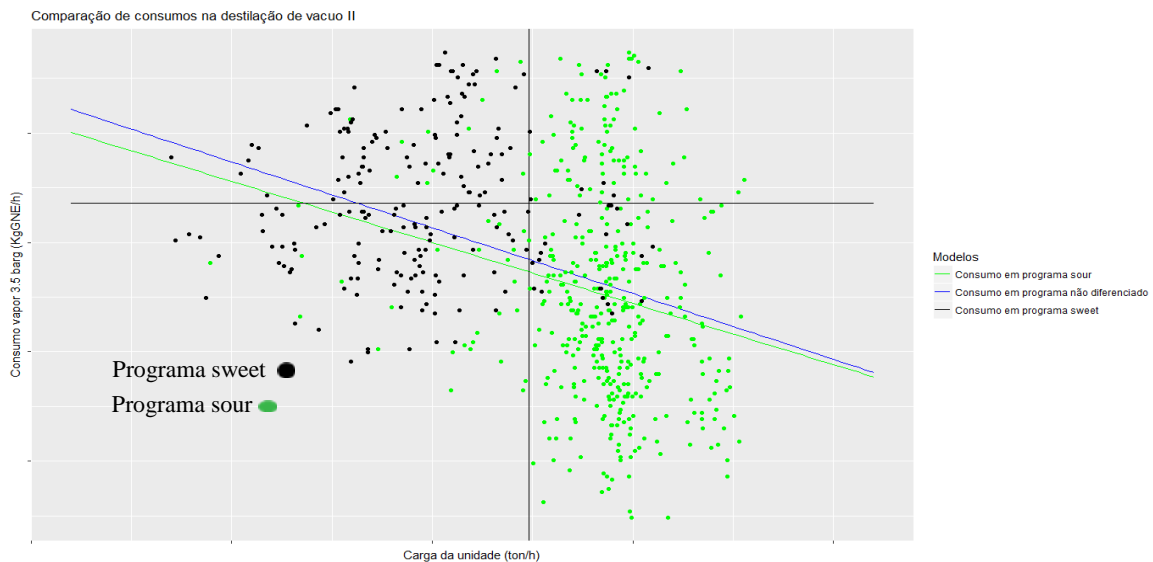


Figura D.3.5-Comparação entre modelos lineares.

À semelhança do consumo de vapor 24 barg, o vapor 3.5 barg apresenta uma distinção bastante significativa entre os diferentes tipos de programa. Apesar da variabilidade elevada dos valores, verifica-se uma diminuição do consumo com o aumento da quantidade de carga no programa *sour*, enquanto no programa *sweet* o consumo não depende da quantidade de carga. Concluindo, o consumo de vapor 3.5 barg só irá variar de forma significativa com a modificação do tipo de programa ou a variação da quantidade de carga.

Consumo de vapor

Após estudados os diferentes tipos de vapor, em termos individuais, estes são associados num unico grupo, sendo este estudado através de um raciocínio idêntico ao utilizado nas análises anteriores. O comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade são representados graficamente através da figura D.3.6.

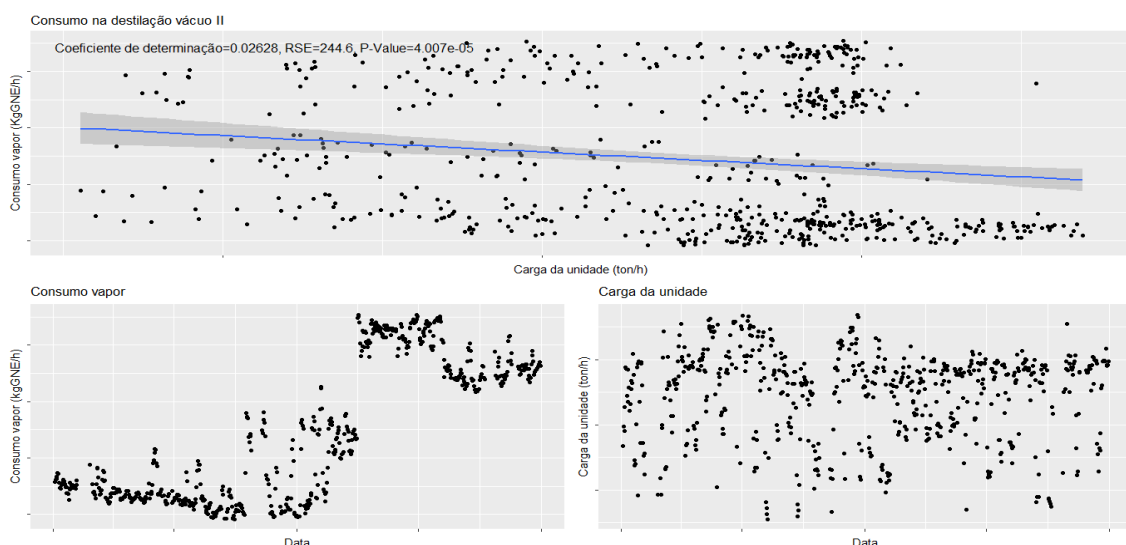


Figura D.3.6-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade.

Apesar do consumo de vapor 3.5 barg representar a maior parcela dos consumos de vapor, o comportamento do consumo de vapor é idêntico ao consumo de vapor 24 barg, devido

ao seu aumento considerável em abril de 2016. São obtidos modelos significativamente diferentes, utilizando dados após e antes de abril de 2016, em função do tipo de programa de fabrico.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

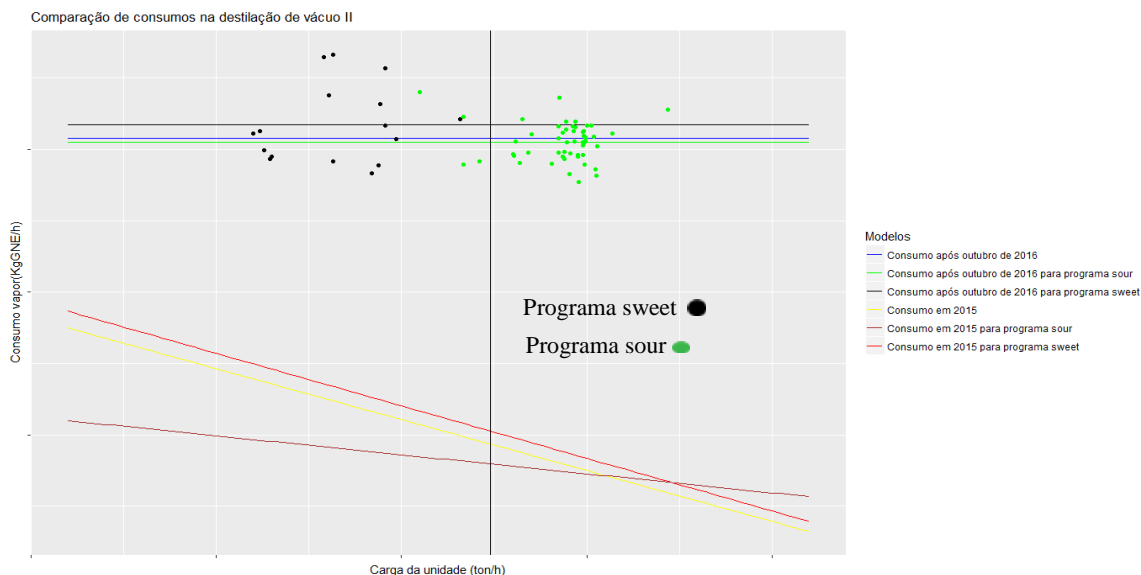


Figura D.3.7-Comparação entre modelos lineares.

Apesar de se verificar uma dependência do consumo em relação ao tipo de programa de fabrico, o consumo não é influenciado pela quantidade de carga à unidade.

Consumo de fuel gás

O fuel gás é consumido nos fornos da destilação, representando o maior consumo da unidade. Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.3.8, o comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade.

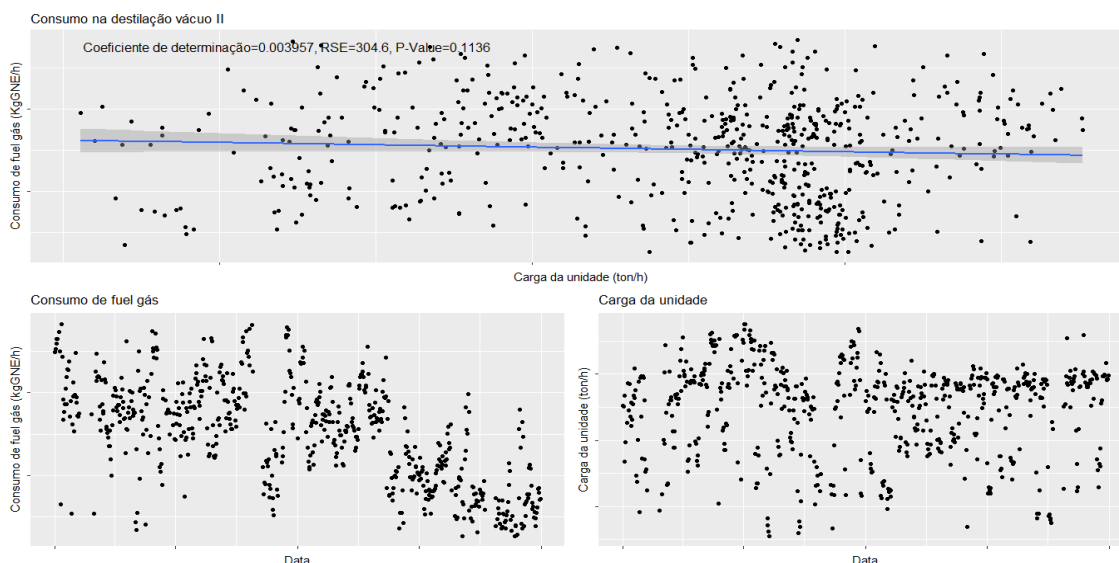


Figura D.3.8-Comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade.

Apesar da limpeza da unidade, em fevereiro de 2015 e outubro de 2016, o consumo de fuel gás não diminui de forma considerável a partir desses períodos de tempo, observando-se uma diminuição apenas a partir de maio de 2016, sendo esta compensada por um aumento do consumo de vapor. São formados modelos significativamente diferentes em função do tipo de programa de fabrico.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

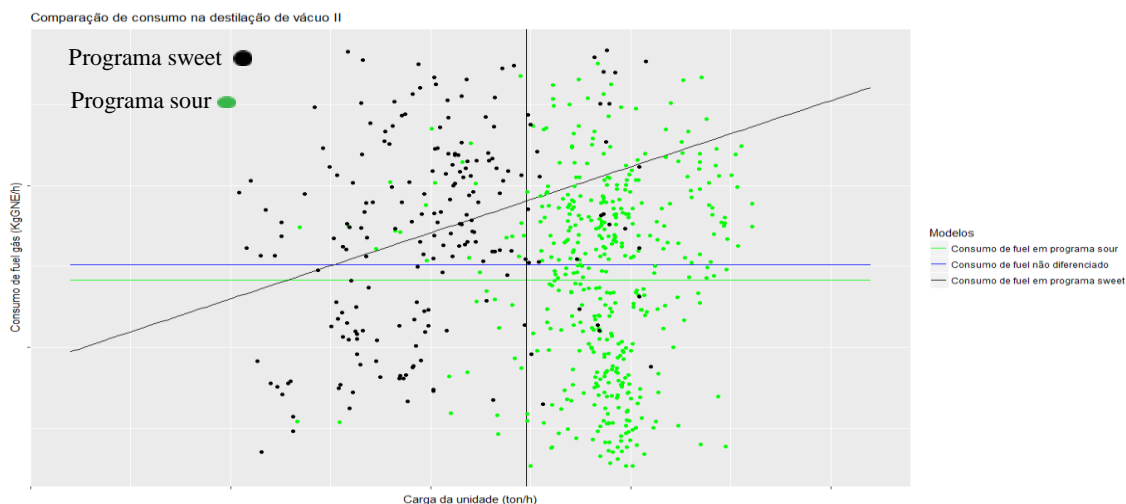


Figura D.3.9-Comparação de modelos lineares.

Conclui-se que no programa *sweet*, apesar do consumo de fuel gás depender da quantidade de carga da unidade de um modo geral, este não será dependente da quantidade de carga, mas do tipo de programa, pois verifica-se uma grande variabilidade nos valores do consumo de fuel gás para quantidades de carga semelhantes.

Consumo de off gás

O off gás é consumido nos fornos da destilação. Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.3.10, o comportamento do consumo de off gás e da quantidade de carga da unidade.

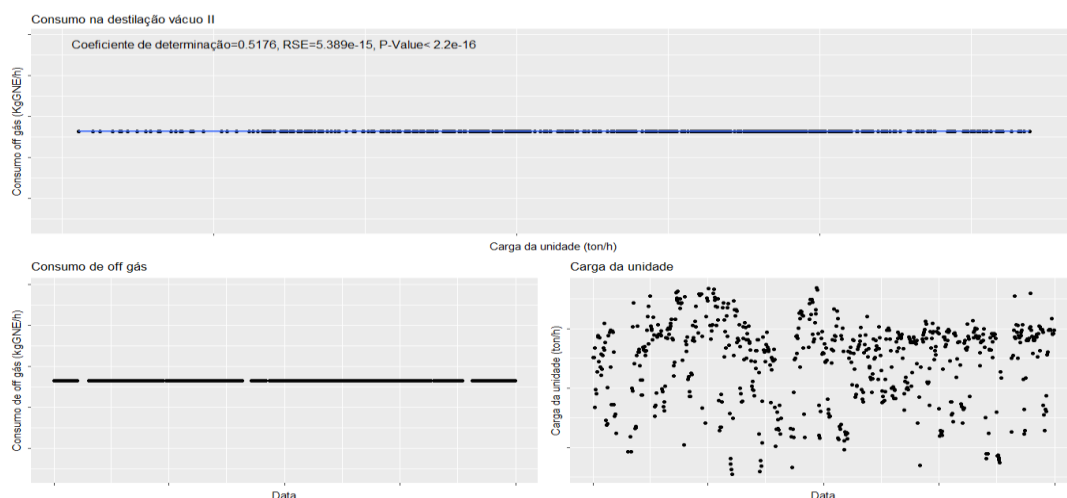


Figura D.3.10-Comportamento do consumo de off gás e da quantidade de carga da unidade.

Através da figura D.3.10 observa-se que o consumo de off gás é independente em relação a qualquer variável explicativa.

Consumo de combustível

De maneira semelhante ao consumo de vapor, foram associados os diferentes tipos de combustíveis. Seguindo o raciocínio das análises anteriores é representado graficamente, através da figura D.3.11, o comportamento do combustível e da quantidade de carga da unidade.

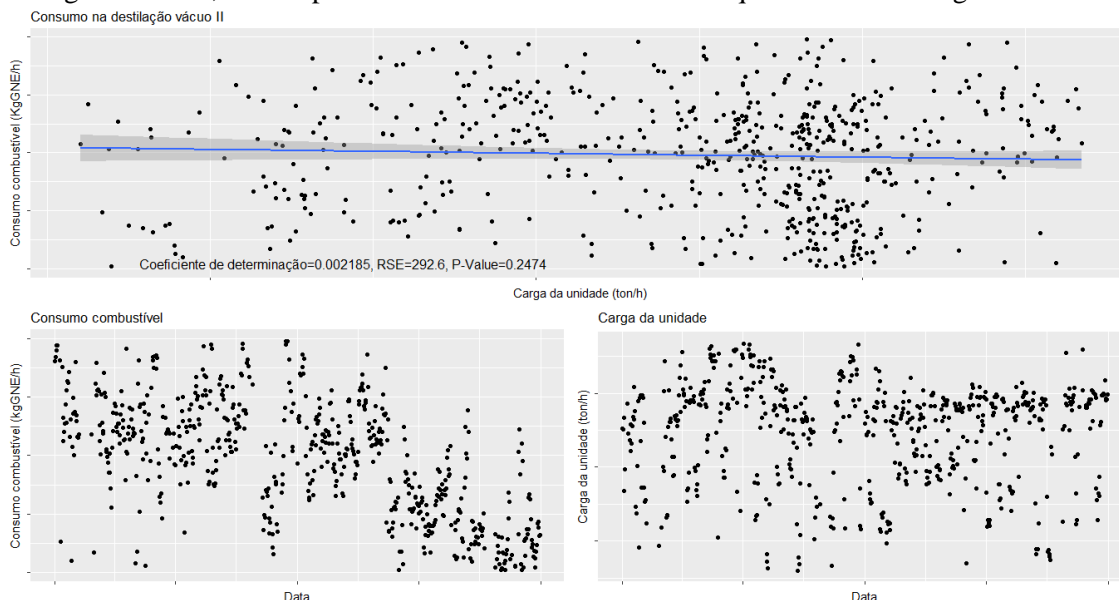


Figura D.3.11-Comportamento do consumo de combustível e da quantidade de carga da unidade.

Dado que o consumo de off gás é constante, o comportamento do consumo de combustível é semelhante ao consumo de fuel gás.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.



Figura D.3.12-Comparação de modelos lineares.

O efeito de *fouling* na unidade não foi considerado significativo.

Consumo de eletricidade

Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, analisou-se o comportamento do consumo médio de eletricidade e da quantidade média de carga da unidade. Estes comportamentos são representados através da figura D.3.13.

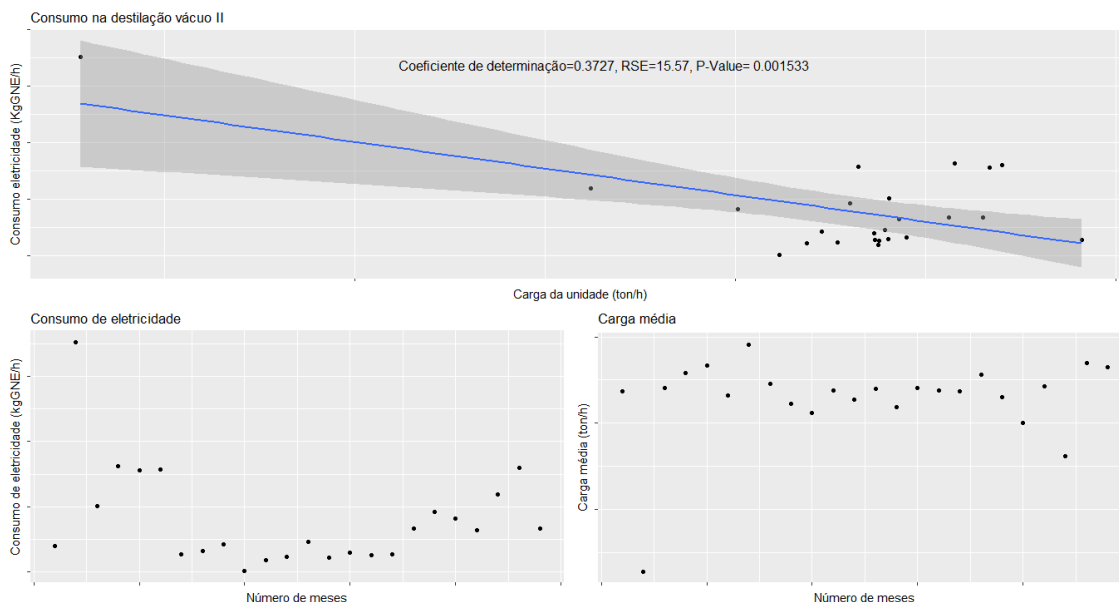


Figura D.3.13-Comportamento do consumo de eletricidade médio e da quantidade média de carga da unidade.

Uma vez que o modelo obtido está sujeito a um erro normalizado bastante elevado, a relação entre o consumo e a carga pode não representar a realidade. Porém, verifica-se uma diminuição do consumo de eletricidade com o aumento da carga da unidade através da análise da figura D.3.13.

Produção de vapor/Produção de vapor 24 barg/Produção de vapor 3.5 barg

Para as produções de vapor, excepcionalmente, é utilizado o mesmo raciocínio que para a eletricidade devido à utilização de balanços mensais, consequência da dificuldade de separar as produções do visbreaker da destilação de vácuo II.

São representados os comportamentos das diversas produções de vapor e da quantidade de carga da unidade através das figuras seguintes.

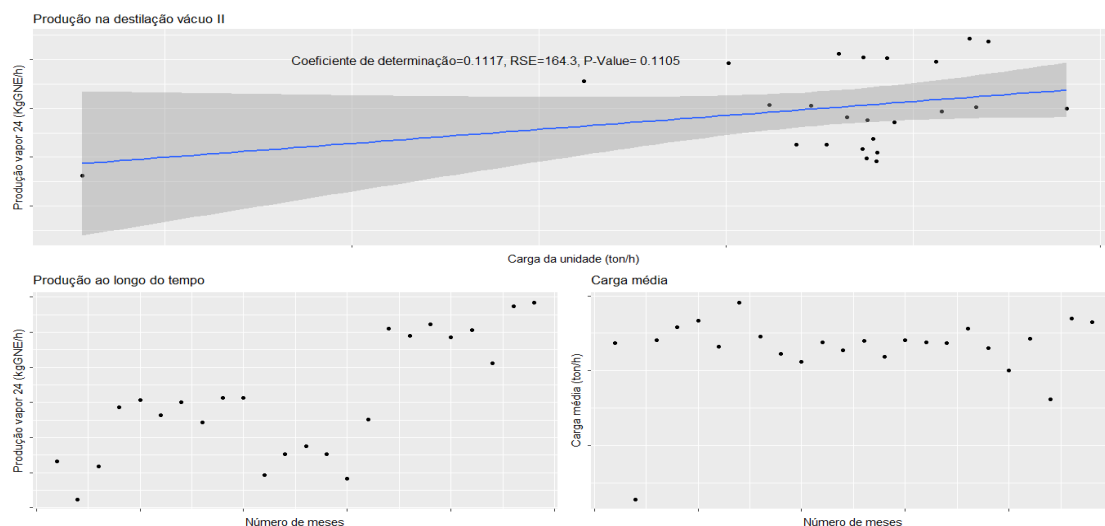


Figura D.3.14-Comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

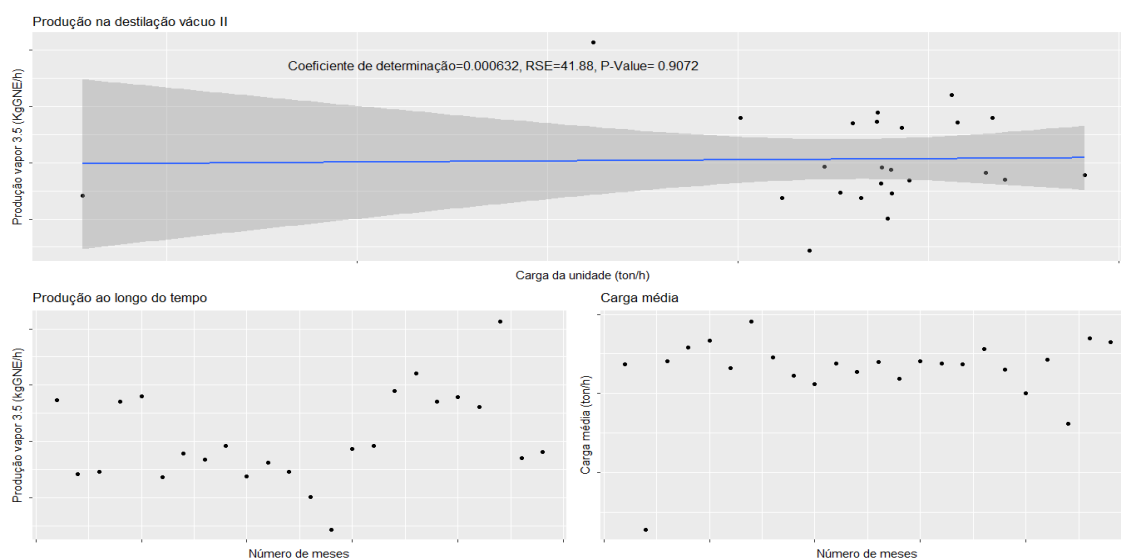


Figura D.3.15-Comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

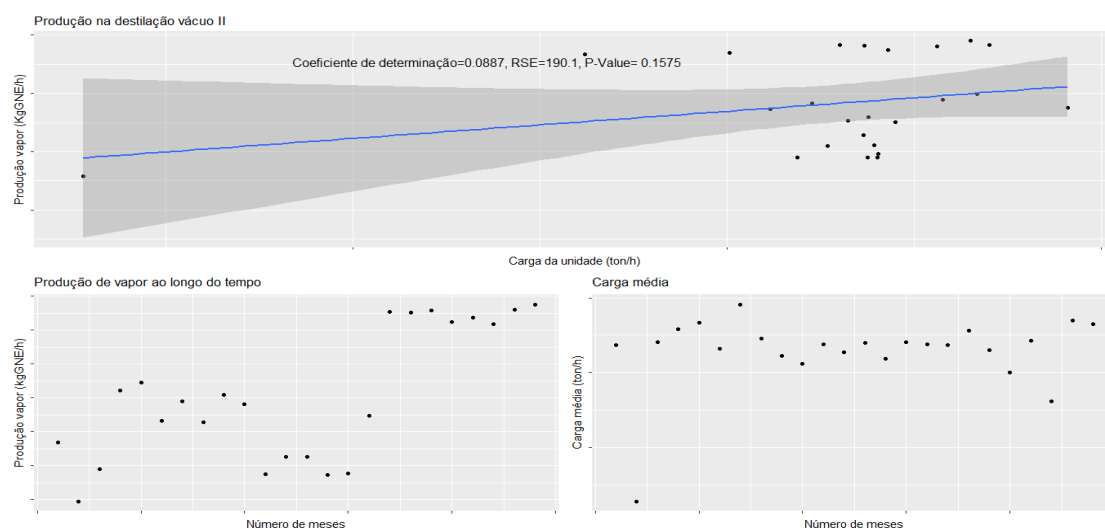


Figura D.3.16-Comportamento da produção de vapor e da quantidade de carga da unidade.

De modo semelhante à eletricidade, os modelos de explicação da produção de vapor apresentam um erro bastante significativo, sendo que as produções de vapor são independentes da quantidade de carga.

Consumo bruto

Através do raciocínio utilizado na destilação atmosférica analisou-se o comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade. Estes são representados através da figura D.3.17.

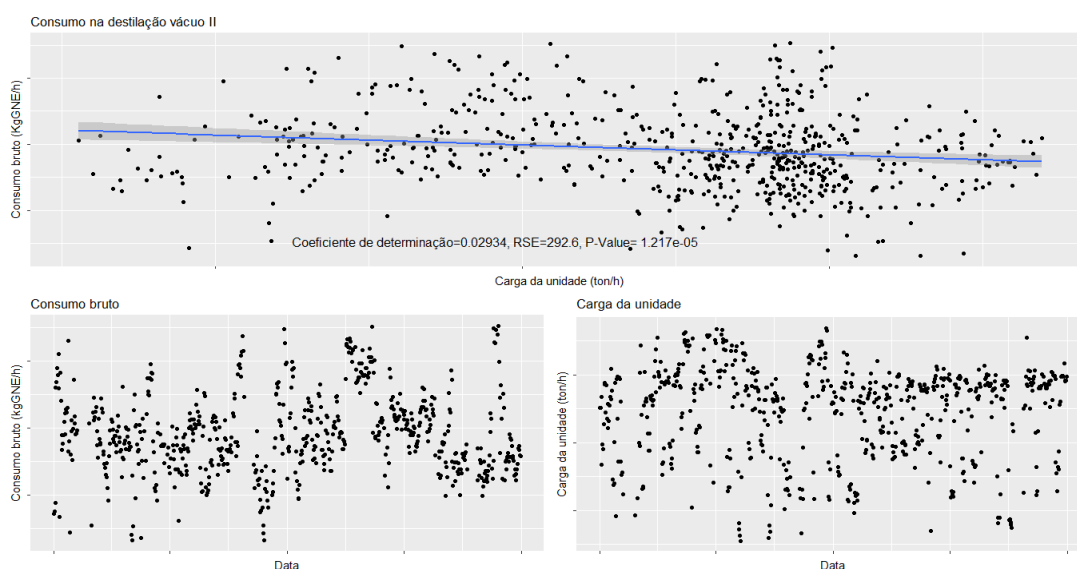


Figura D.3.17-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade.

Apesar do consumo de vapor ter sofrido uma alteração considerável em abril de 2016, este efeito não é verificado de forma tão considerável no caso do consumo bruto, dada a diminuição de consumo de fuel gás por volta do mesmo período de tempo. Foram produzidos modelos significativamente diferentes em função do tipo de programa utilizado.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos nos seus coeficientes.

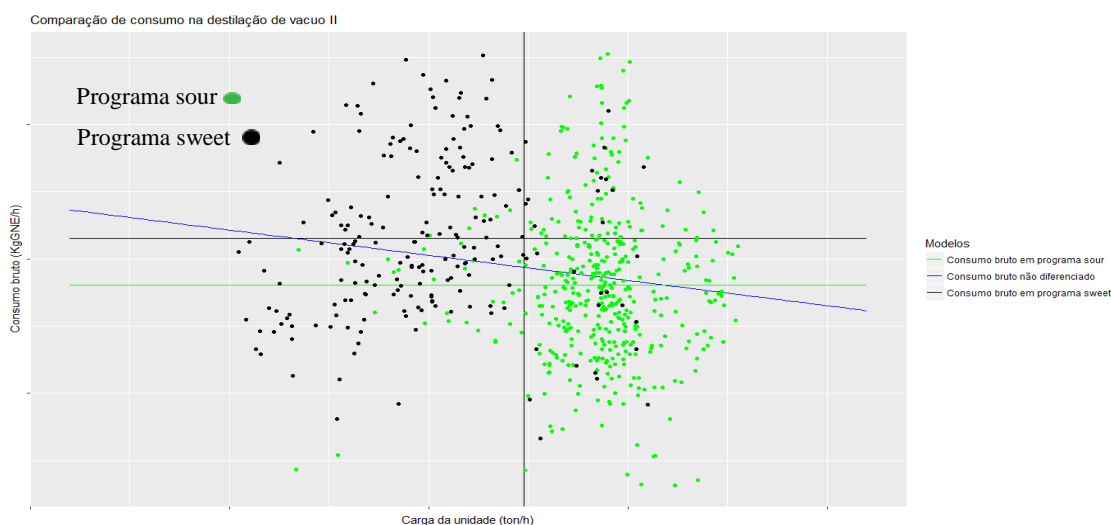


Figura D.3.18-Comparação entre modelos lineares.

Devido à elevada variabilidade do consumo bruto para quantidades de carga semelhantes, sendo esta causada pelo consumo de fuel gás, os modelos produzidos para o consumo bruto são sujeitos a erros bastante elevados. Verifica-se que para um mesmo tipo de programa, a quantidade de carga não será uma variável influenciável, porém para o programa não diferenciado, o consumo bruto da unidade tende a diminuir com o aumento da quantidade de carga da unidade.

Anexo D.4-Visbreaker

Consumo de vapor 24 barg

O vapor 24 barg é consumido principalmente nos acumuladores. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado na unidade anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

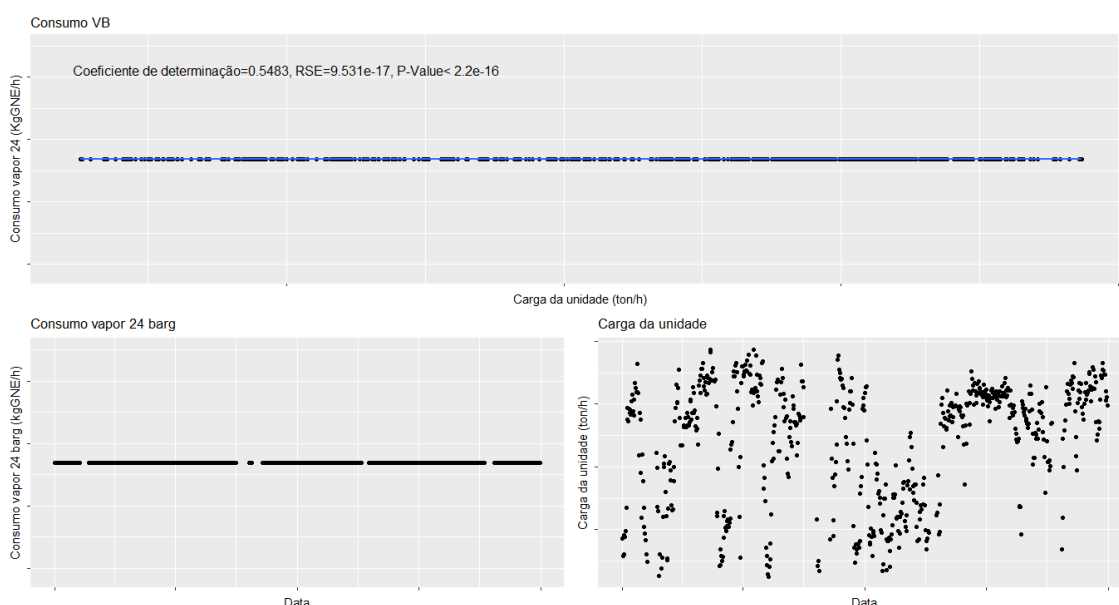


Figura D.4.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.4.1 conclui-se que o consumo de vapor 24 barg é independente de qualquer variável explicativa.

Consumo de vapor 3.5 barg

O vapor 3.5 barg é consumido principalmente na coluna fraccionadora, no stripper de gasóleo e nos acumuladores. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado na unidade anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

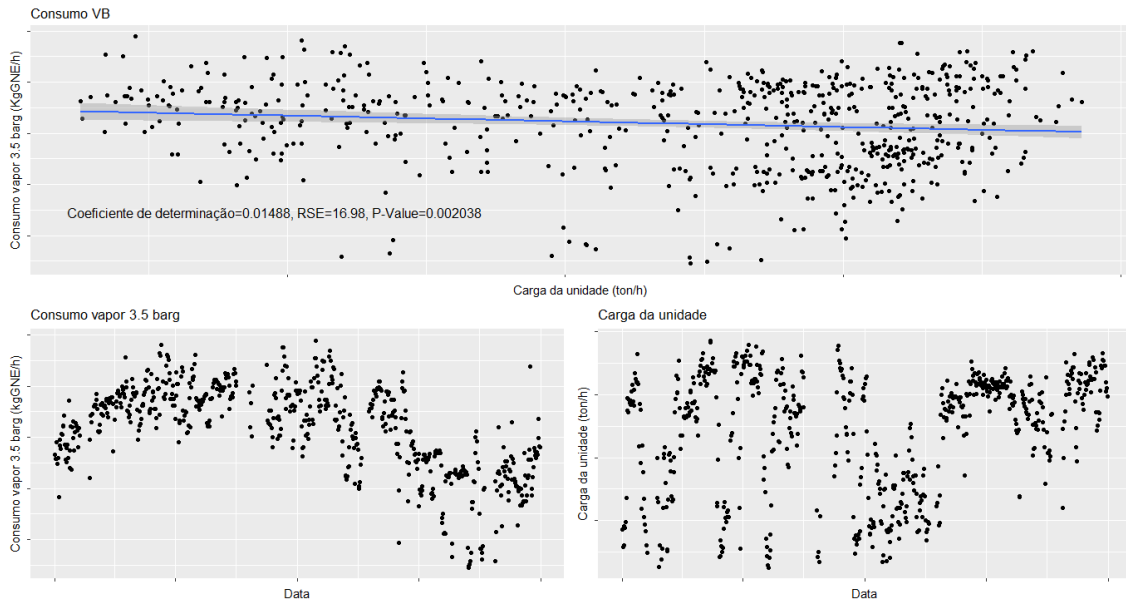


Figura D.4.2-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

A partir da figura D.4.2 observa-se que devido à alta variabilidade do consumo de vapor 3.5 barg não é identificável uma relação considerável entre o consumo de vapor 3.5 barg e a quantidade de carga da unidade. Porém, a partir de abril de 2016 ocorrem duas alterações consideráveis, sendo estas: aumento de carga e decréscimo de consumo. Deste modo, foram analisados os dados anteriores e após abril de 2016, dos quais se produziram dois modelos significativamente distintos. Adicionalmente, a partir dos dois grupos de dados distintos, foram produzidos modelos significativamente diferentes em função do tipo de programa utilizado.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

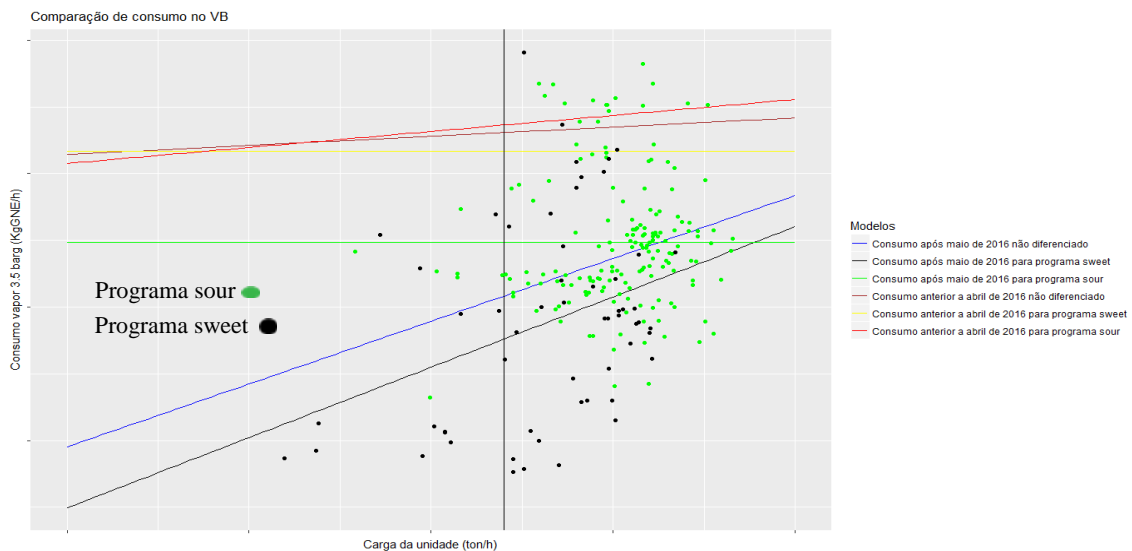


Figura D.4.3-Comparação de modelos lineares.

Apesar da variabilidade elevada dos consumos, conclui-se que o consumo de vapor 3.5 barg depende apenas do tipo de programa e da quantidade de carga, sendo que na maioria dos modelos obtidos o consumo de vapor aumenta com o aumento da quantidade de carga.

Consumo de vapor

Após estudados os diferentes tipos de vapor, em termos individuais, estes são associados num unico grupo, sendo este estudado através de um raciocínio idêntico ao utilizado nas análises anteriores. O comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade são representados graficamente através da figura D.4.4.

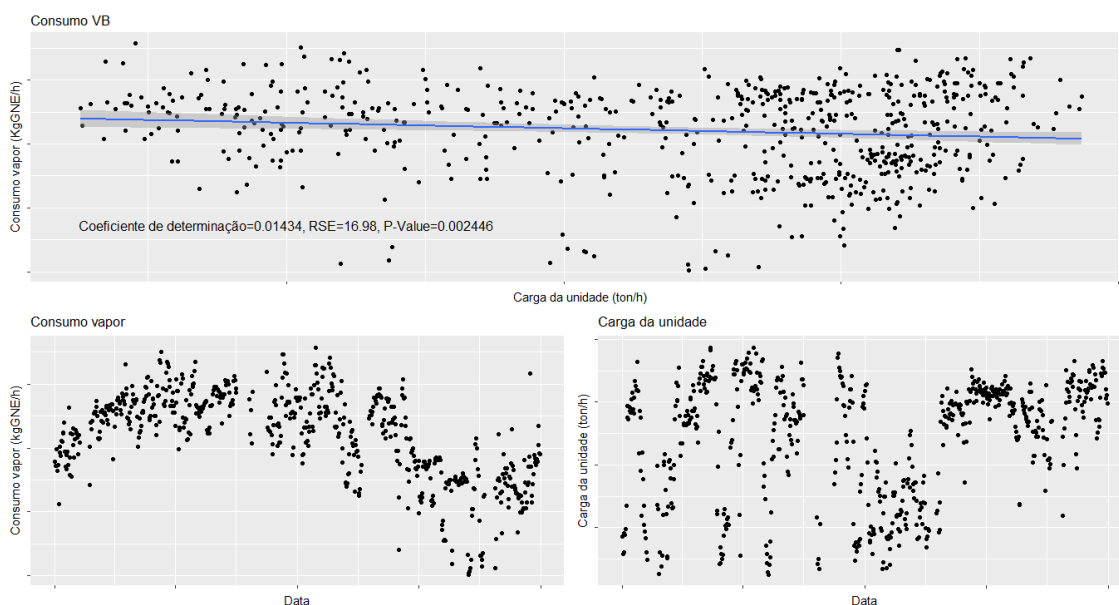


Figura D.4.4-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade.

Sendo o consumo de vapor 24 barg constante, o consumo de vapor apresenta o mesmo comportamento que o consumo de vapor 3.5 barg. As conclusões retiradas são idênticas à análise do consumo de vapor 3.5 barg.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

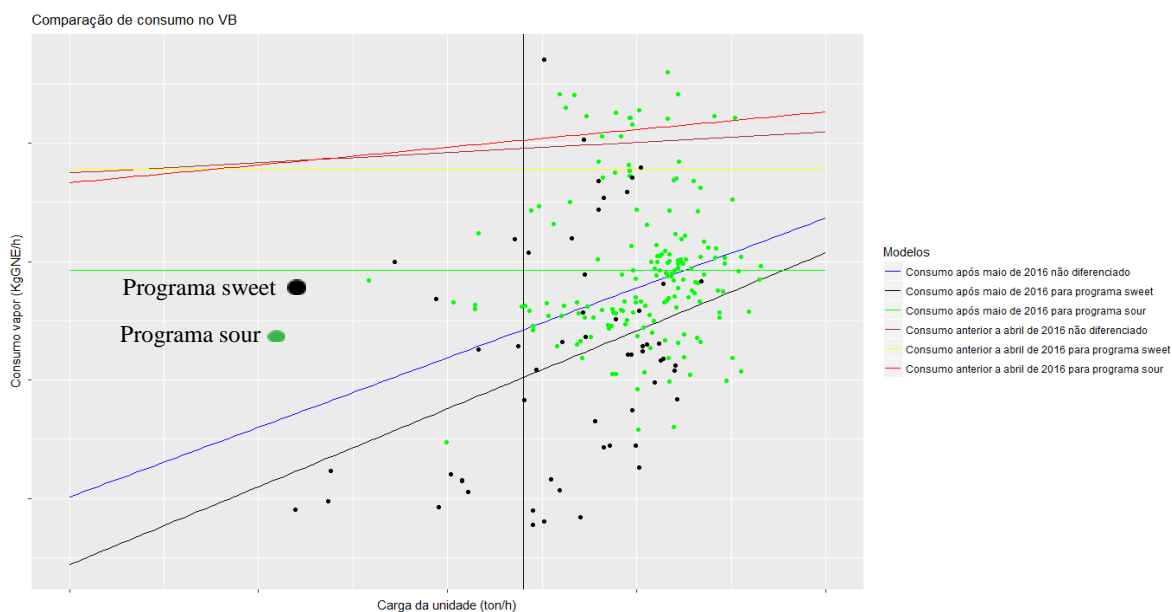


Figura D.4.5-Comparação de modelos lineares

Consumo de fuel gás

O fuel gás é consumido no forno, representando este o maior consumo da unidade. Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, é representado graficamente, através da seguinte figura, o comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade.

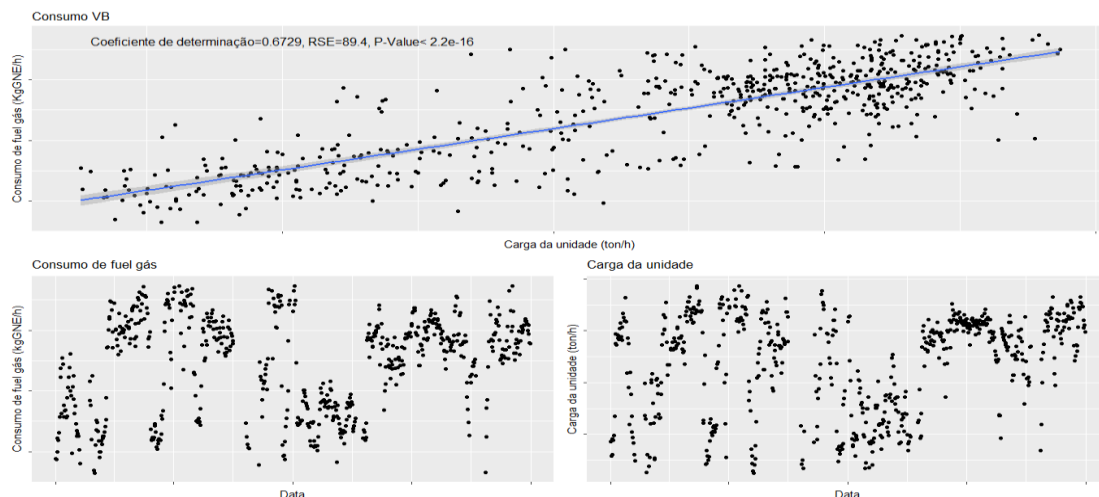


Figura D.4.6-Comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.4.6, conclui-se que o consumo de fuel gás aumenta com o aumento da quantidade de carga da unidade, sendo esta relação bastante significativa. Foram formados modelos significativamente diferentes em função do tipo de programa utilizado. Apesar de ter sido estudado, o efeito de *fouling* não influencia de maneira significativa o consumo de fuel gás da unidade.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

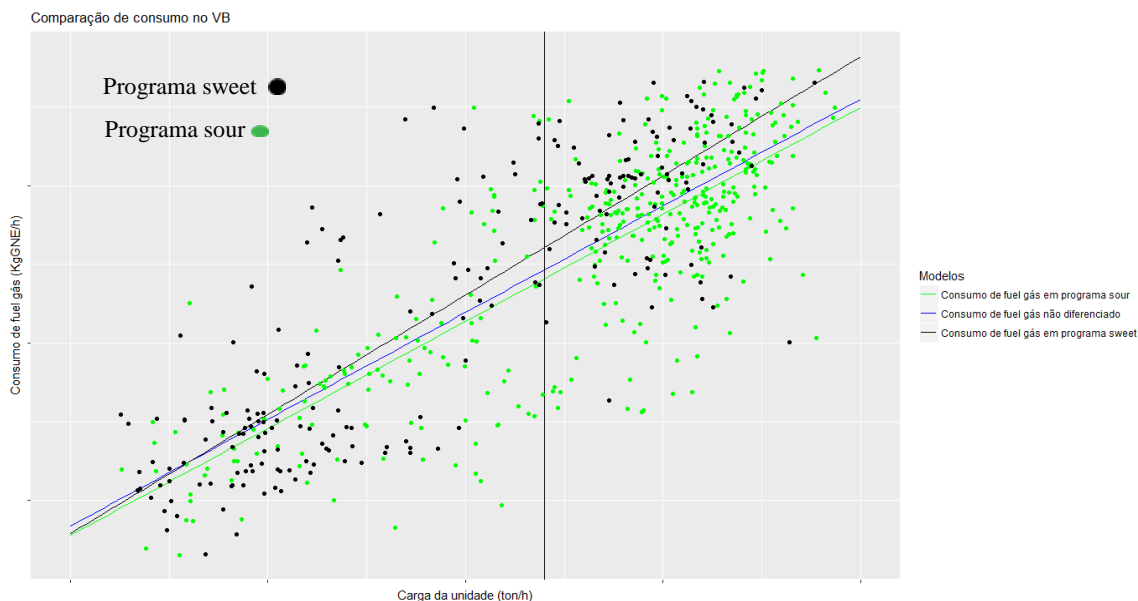


Figura D.4.7-Comparação de modelos lineares.

Apesar dos modelos formados pelos diferentes tipos de programas serem significativamente diferentes, os dados destes não aparentam apresentar uma diferença significativa. Os modelos lineares indicam que o aumento de consumo de fuel gás está associado ao aumento da quantidade de carga da unidade. Em suma, o consumo de fuel gás só é influenciado pelo tipo de programa e a quantidade de carga da unidade.

Consumo de eletricidade

Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, analisou-se o comportamento do consumo médio de eletricidade e da quantidade média de carga da unidade. São representados estes comportamentos através da figura seguinte.

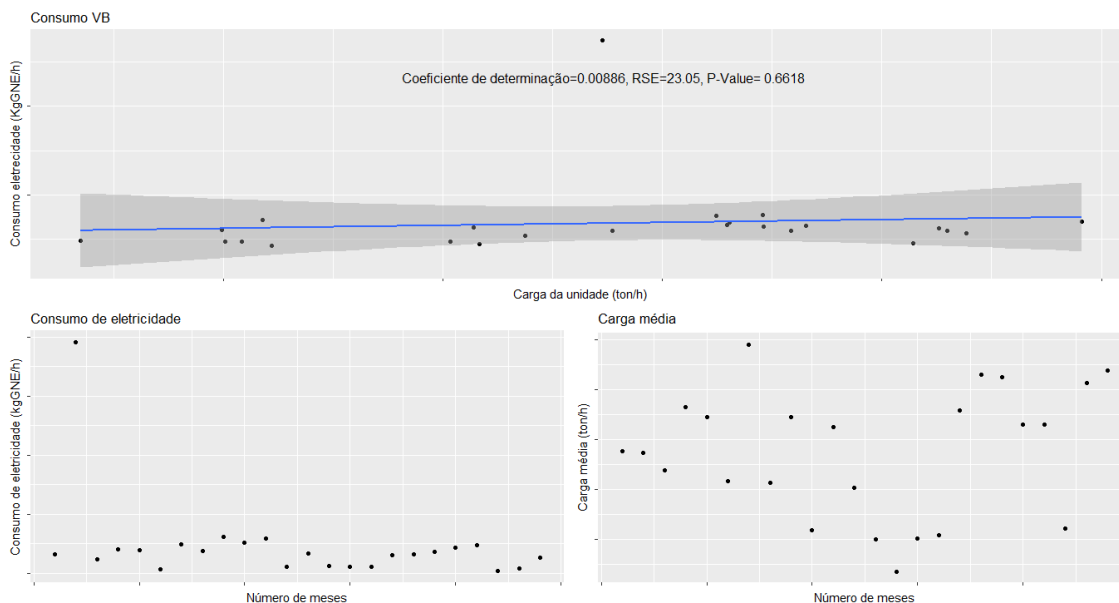


Figura D.4.8-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.4.8, verifica-se que o consumo de eletricidade é independente da quantidade de carga da unidade.

Produção de vapor/Produção de vapor 24 barg/Produção de vapor 3.5 barg

Para as produções de vapor é utilizado o mesmo raciocínio que para a destilação de vácuo II.

São representados os comportamentos das diversas produções de vapor e da quantidade de carga da unidade através das figuras seguintes.

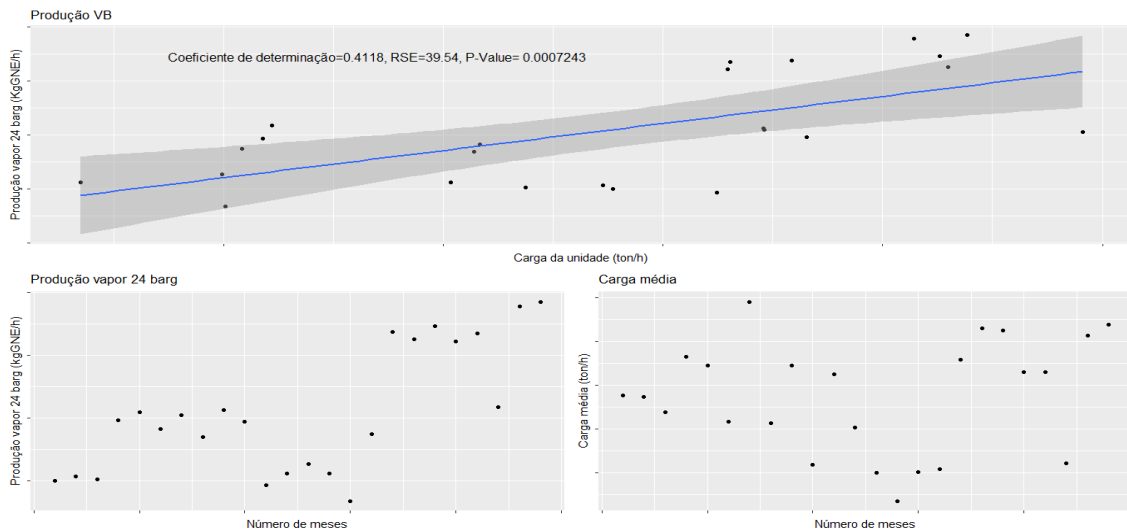


Figura D.4.9-Comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

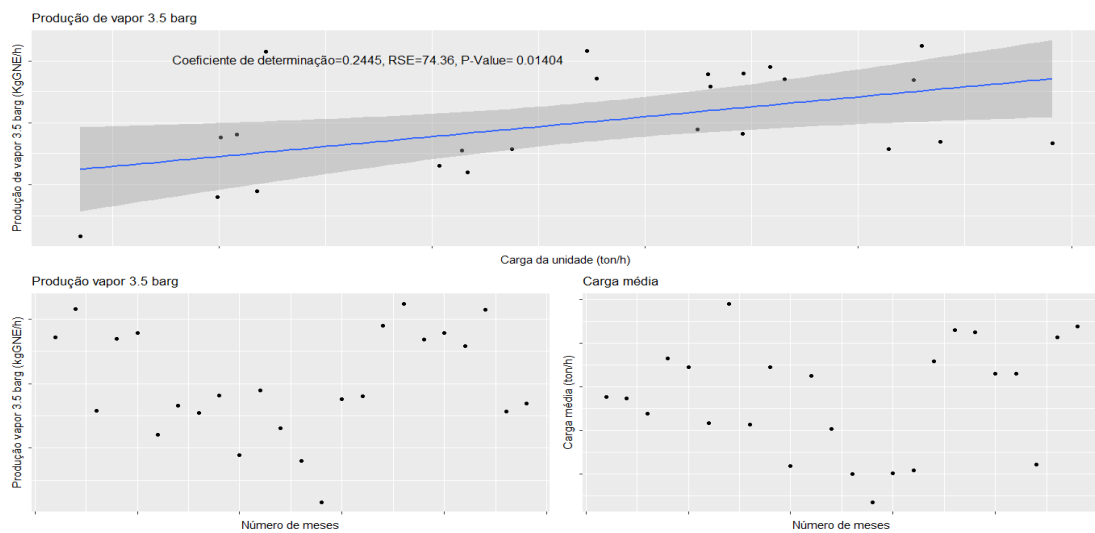


Figura D.4.10-Comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

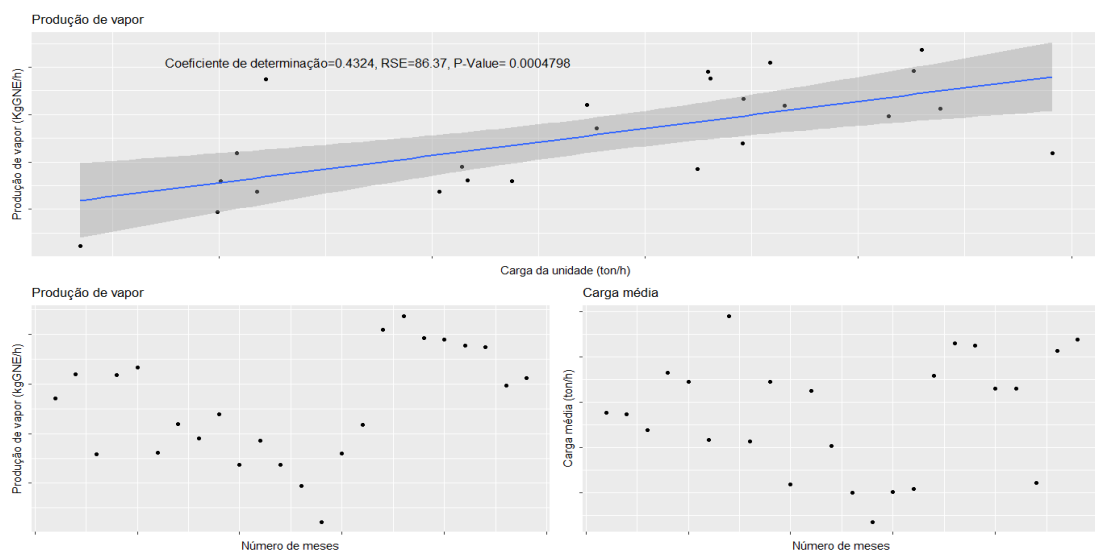


Figura D.4.11-Comportamento da produção de vapor e da quantidade de carga da unidade.

De modo semelhante à eletricidade, os modelos de explicação da produção de vapor apresentam um erro bastante significativo, sendo que a produção de vapor aumenta com o aumento da quantidade de carga.

Consumo bruto

Através do raciocínio utilizado na destilação atmosférica analisou-se o comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade. Estes são representados através da figura D.4.12.

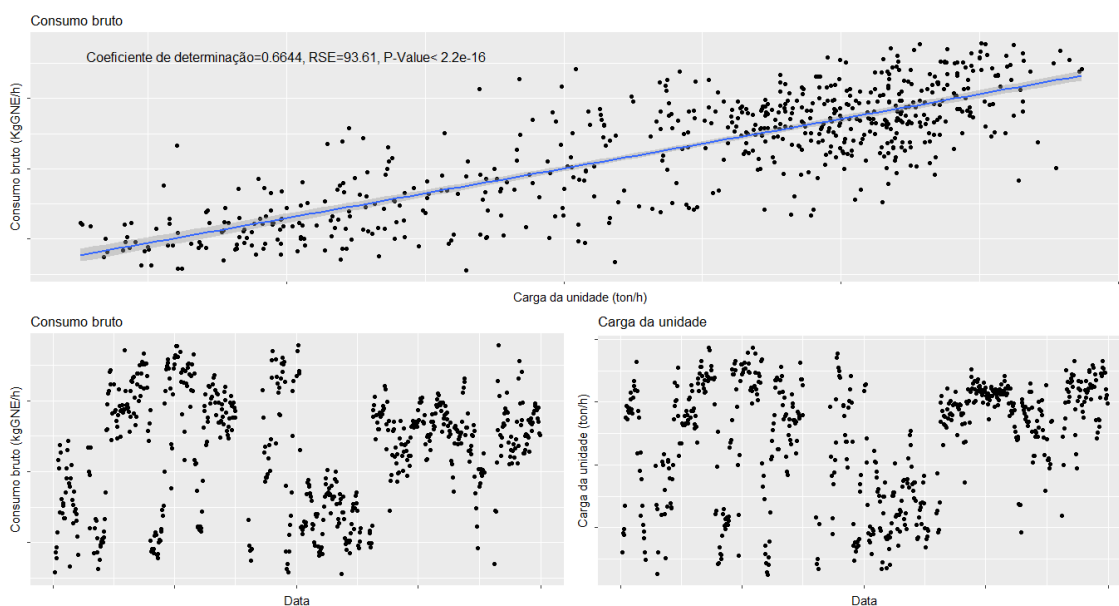


Figura D.4.12-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.4.12, conclui-se que o consumo bruto apresenta a mesma relação significativa com a quantidade de carga da unidade que o consumo de fuel gás. Este facto deve-se à maior contribuição do consumo de fuel gás para o cálculo do consumo bruto. Dado que o consumo de eletricidade é independente da quantidade de carga, e o consumo de vapor e fuel gás aumentam com o aumento da quantidade de carga, chega-se à conclusão que o consumo bruto também aumenta com a quantidade de carga, sendo este facto, representado pela figura D.4.12. À semelhança do consumo de fuel gás, foram produzidos modelos significativamente diferentes em função do tipo de programa.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

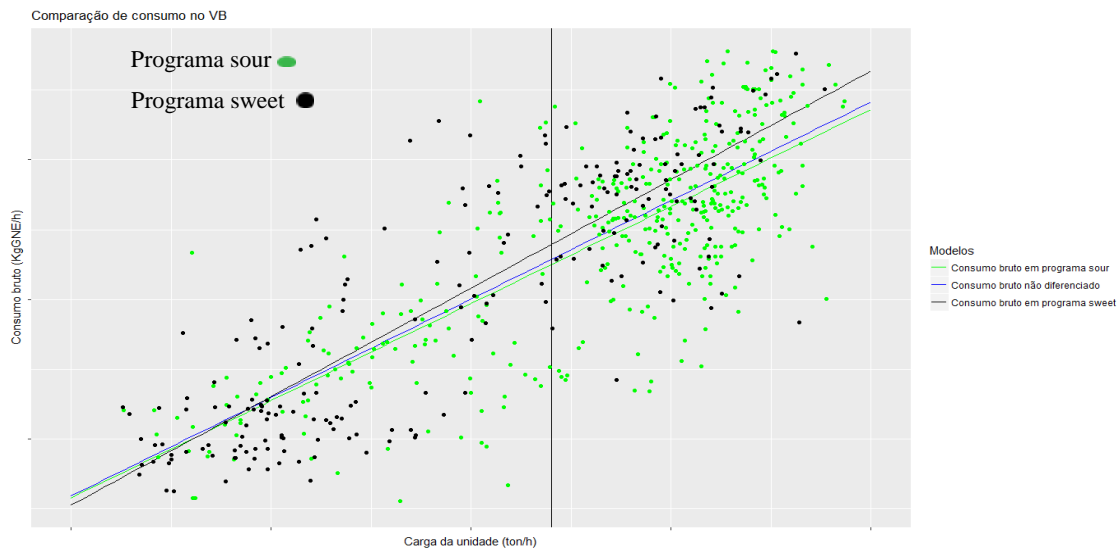


Figura D.4.13-Comparação de modelos lineares.

Conclui-se que o consumo bruto, depende apenas do tipo de programa de fabrico e da quantidade de carga, sendo maior quando o programa é sweet e a carga da unidade é elevada.

Anexo D.5-HD

Consumo de vapor 24 barg

O vapor 24 barg é consumido principalmente no revaporizador HD-V4 e no permutador HD-E3. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado na unidade anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

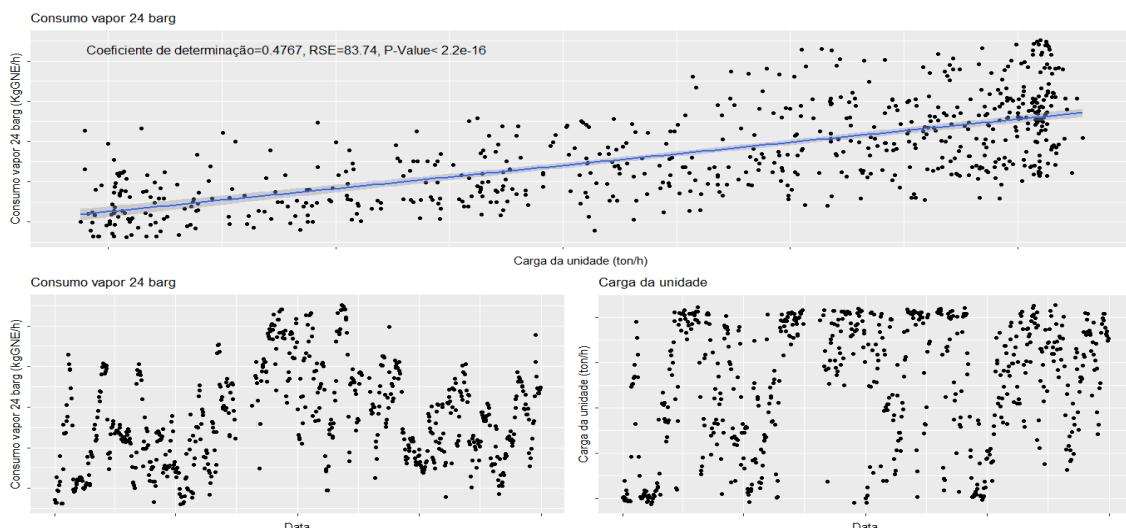


Figura D.5.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

Apesar da elevada variabilidade do consumo de vapor 24 barg para quantidades de carga semelhantes, sendo esta causada pela variação do consumo do permutador de resíduo de *visbreaker*, verifica-se um aumento significativo do consumo quando a carga aumenta, sendo esta a única relação significativa obtida.

Consumo de vapor 10.5 barg

O vapor 10.5 barg é consumido nos fornos, representando este o menor consumo da unidade. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

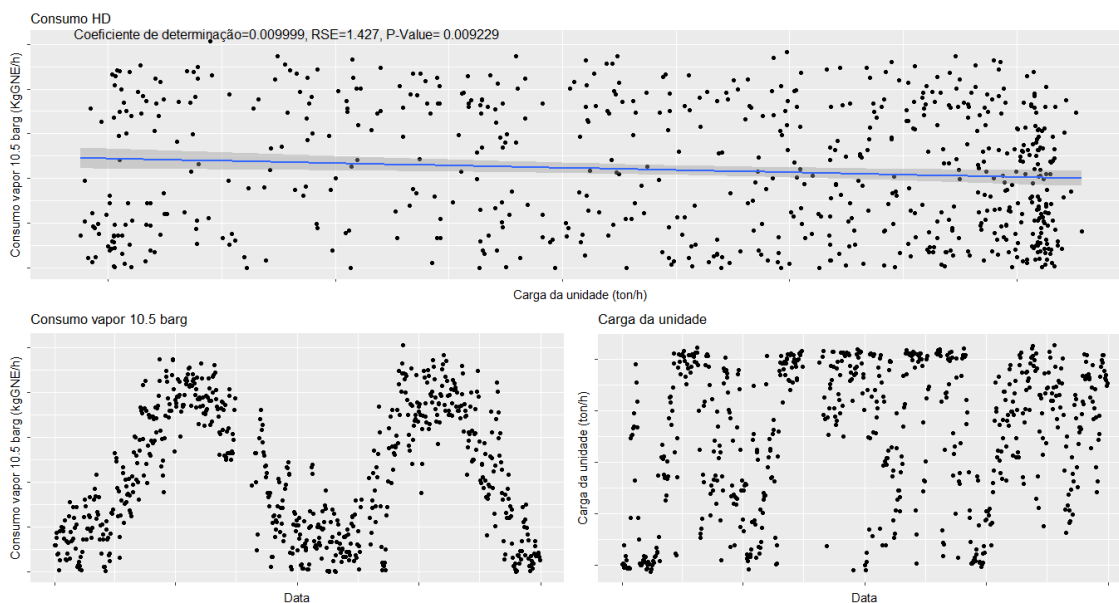


Figura D.5.2-Comportamento do consumo de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

Através da figura D.5.2, verifica-se que o principal factor de variação do consumo de vapor 10.5 barg é a temperatura ambiente, sendo que quando a temperatura aumenta o consumo consequentemente aumenta.

Consumo de vapor 3.5 barg

O vapor 3.5 barg é consumido no permutador HD-E10. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

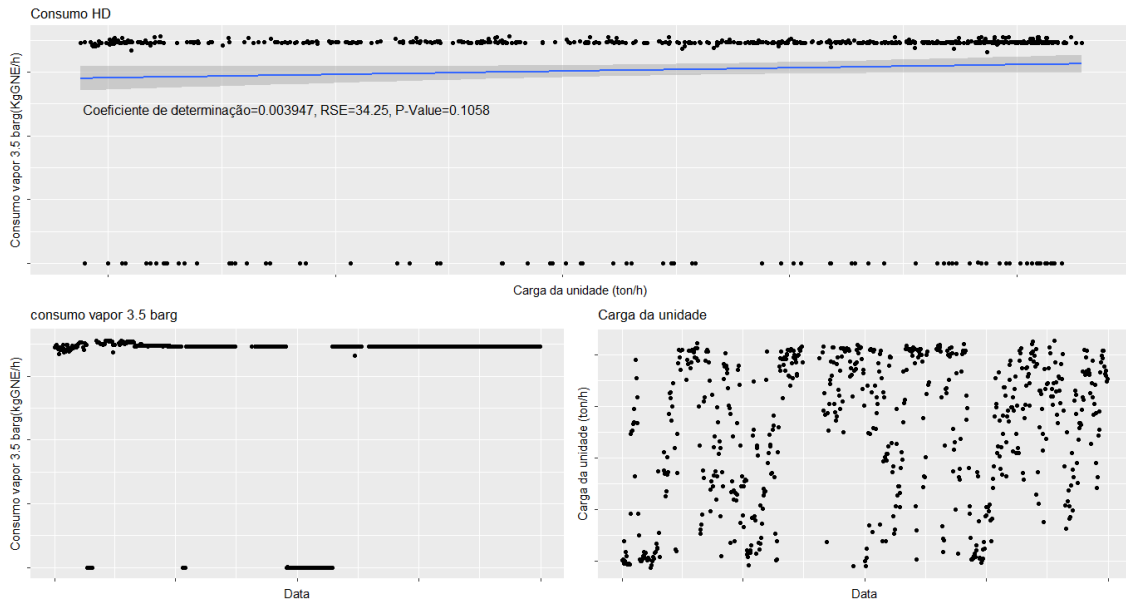


Figura D.5.3-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

Através da figura D.5.3, verifica-se que a partir de abril de 2016 o consumo de vapor 3.5 barg ficou estagnado num intervalo de valores de forma constante, sendo os modelos após e antes da estagnação representados pela figura seguinte.

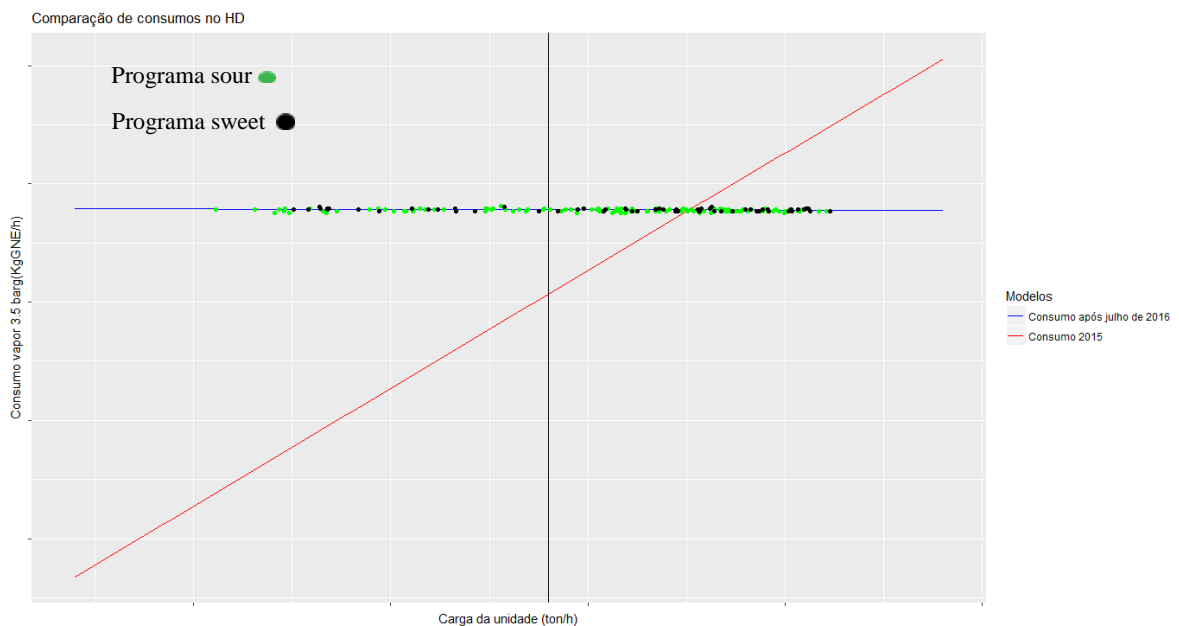


Figura D.5.4-Comparação de modelos lineares.

Através da figura D.5.4, conclui-se que o consumo de vapor 3.5 barg é independente em relação a qualquer variável explicativa.

Consumo de vapor

Após estudados os diferentes tipos de vapor, em termos individuais, estes são associados num unico grupo, sendo este estudado através de um raciocínio idêntico ao utilizado nas análises anteriores. O comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade são representados graficamente através da figura D.5.5.

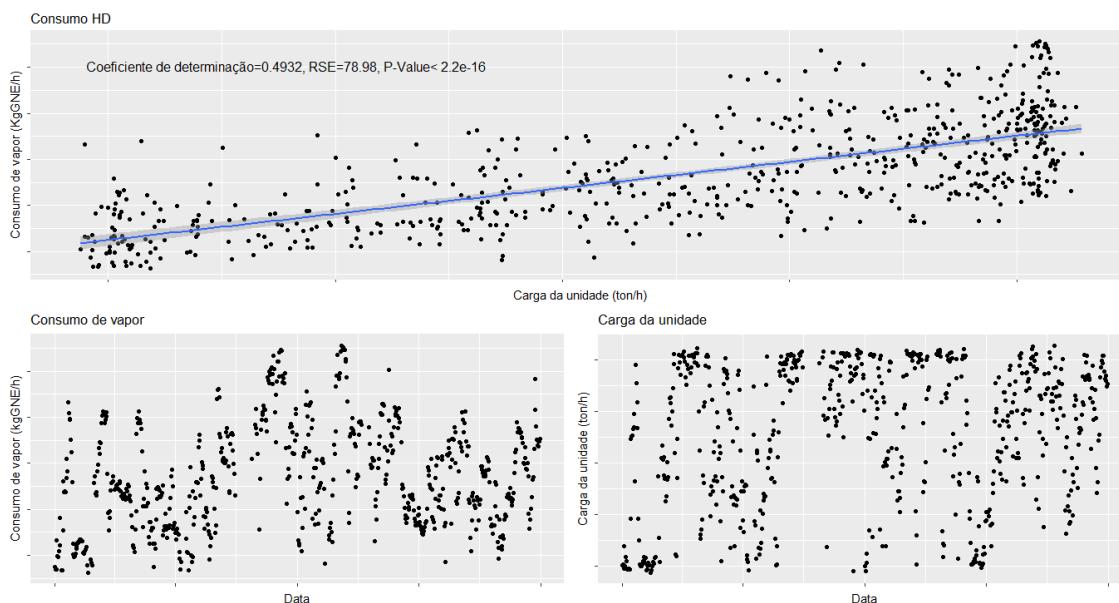


Figura D.5.5-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.5.5, verifica-se que o comportamento do consumo de vapor é idêntico ao consumo de vapor 24 barg. Isto deve-se ao facto da quantidade de consumo de vapor 10.5 barg ser mínima, comparativamente aos restantes tipos de vapor, e ao facto do consumo de vapor 3.5 barg apresentar uma relação independente com a carga. À semelhança da análise do consumo de vapor 24 barg, o consumo de vapor é dependente exclusivamente da quantidade de carga da unidade, sendo independente das restantes variáveis.

Consumo de fuel gás

O fuel gás é consumido nos fornos, sendo este o maior consumo da unidade. Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura seguinte, o comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade.

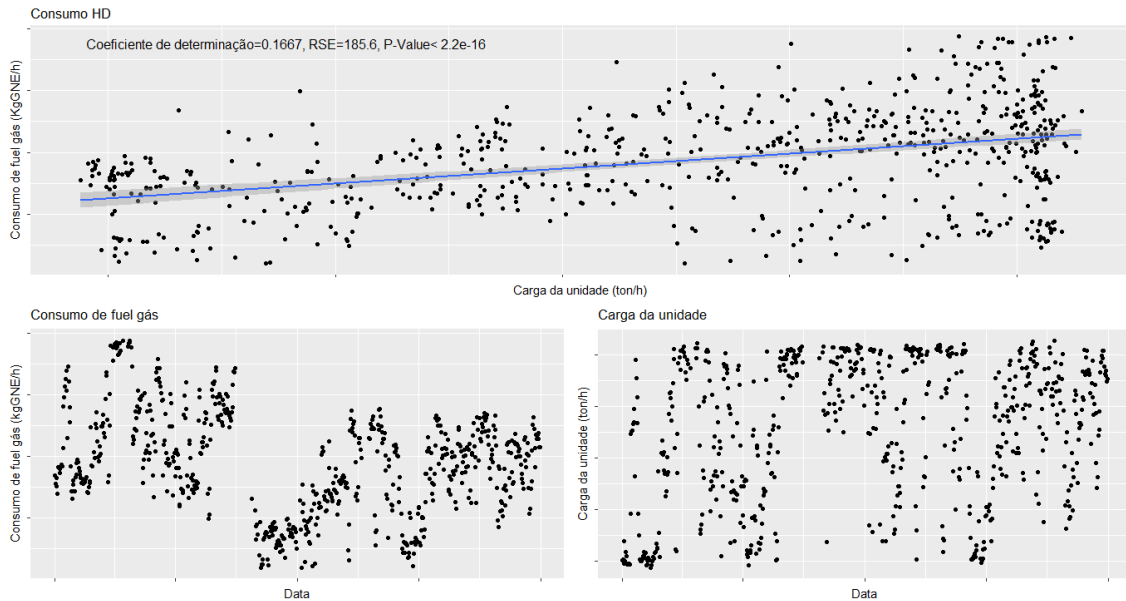


Figura D.5.6-Comportamento do fuel gás e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.5.6, verifica-se uma diminuição significativa quanto ao consumo de fuel gás no mês de Outubro de 2015. Este acontece após a limpeza da unidade processual, sendo diminuído o efeito do *fouling* no consumo de fuel gás. A partir dos dados após e antes da paragem foram formados dois modelos lineares significativamente diferentes, sendo que nenhum dos dois grupos de dados formou modelos significativamente diferentes em função do tipo de programa utilizado.

A figura seguinte representa os modelos obtidos através da distinção dos dados.

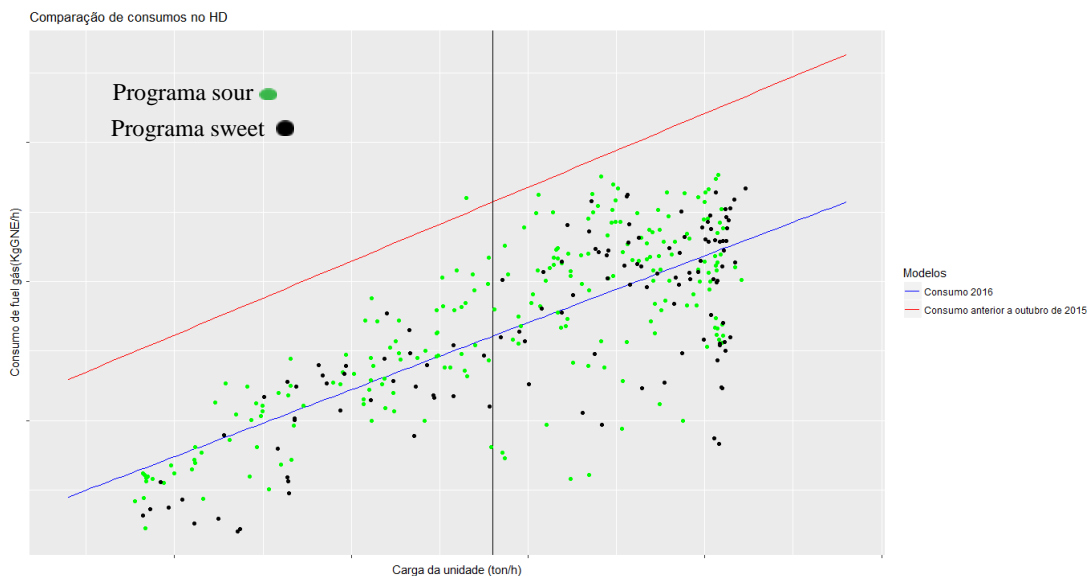


Figura D.5.7-Comparação entre modelos lineares.

Conclui-se que o consumo de fuel gás aumenta com o aumento da quantidade de carga, sendo independente em relação à temperatura ambiente e ao tipo de programa utilizado.

Com o objectivo de identificar o efeito de *fouling* no consumo de fuel gás representou-se, na figura D.5.8, o consumo específico de fuel gás em função dos dias após a limpeza da unidade.

Efeito de *fouling* no HD

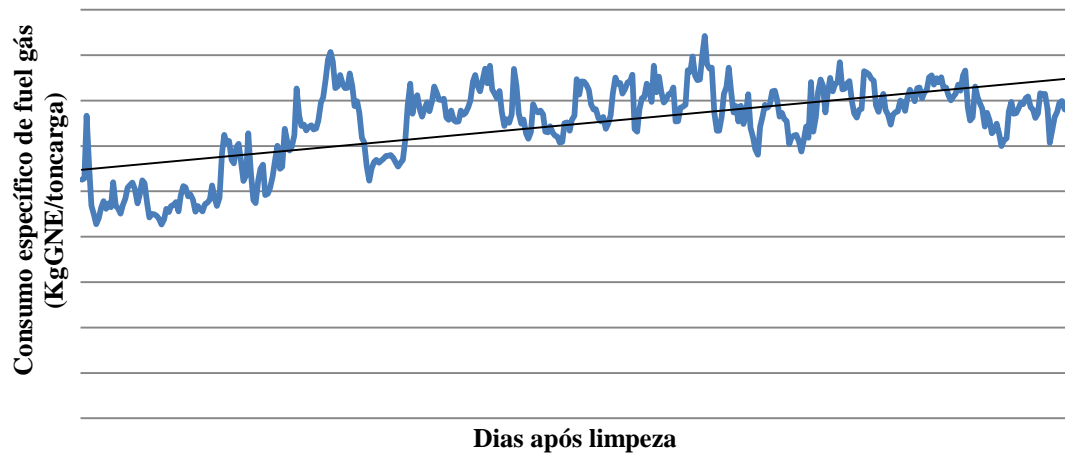


Figura D.5.8-Efeito de *fouling* no HD.

Analisando a figura D.5.8 observa-se que de 1 de Novembro de 2015 até dia 31 de Dezembro de 2016, o efeito de *fouling* tem um contributo significativo no consumo de combustível.

Consumo de eletricidade

Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, analisou-se o comportamento do consumo médio de eletricidade e da quantidade média de carga da unidade. São representados estes comportamentos através da figura seguinte.

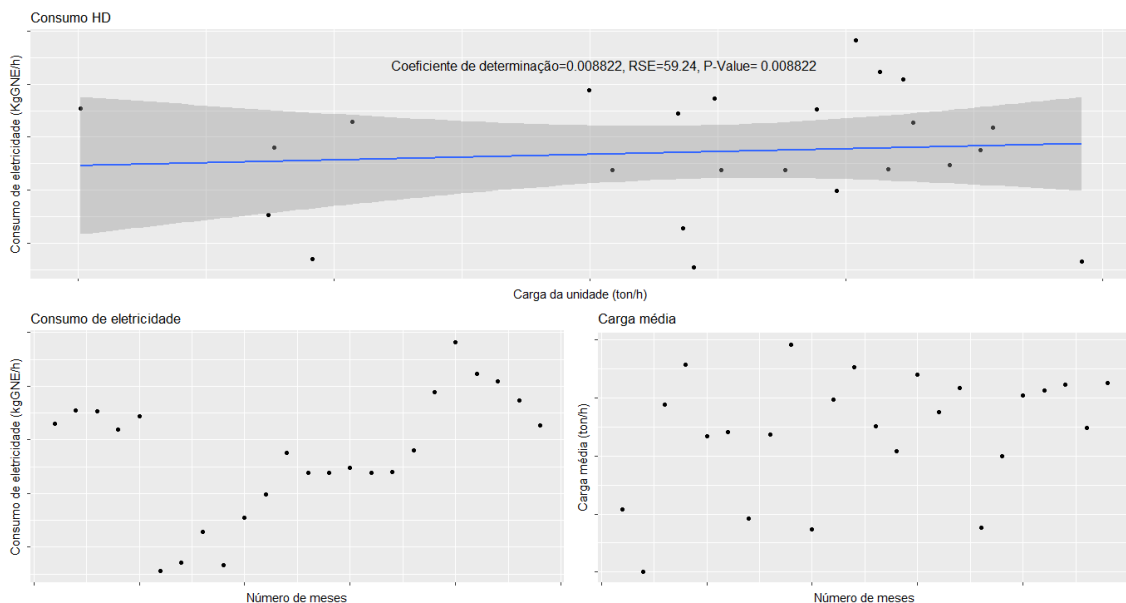


Figura D.5.9-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de carga da unidade.

Sendo que o modelo obtido está sujeito a um erro normalizado bastante elevado, a relação entre o consumo e a carga poderá não representar a realidade, porém através da análise da figura D.5.9 verifica-se um aumento do consumo de eletricidade com o aumento da carga da unidade.

Anexo D.6-HG

Consumo de vapor 24 barg

O vapor 24 barg é consumido nos ejectores. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado na unidade anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

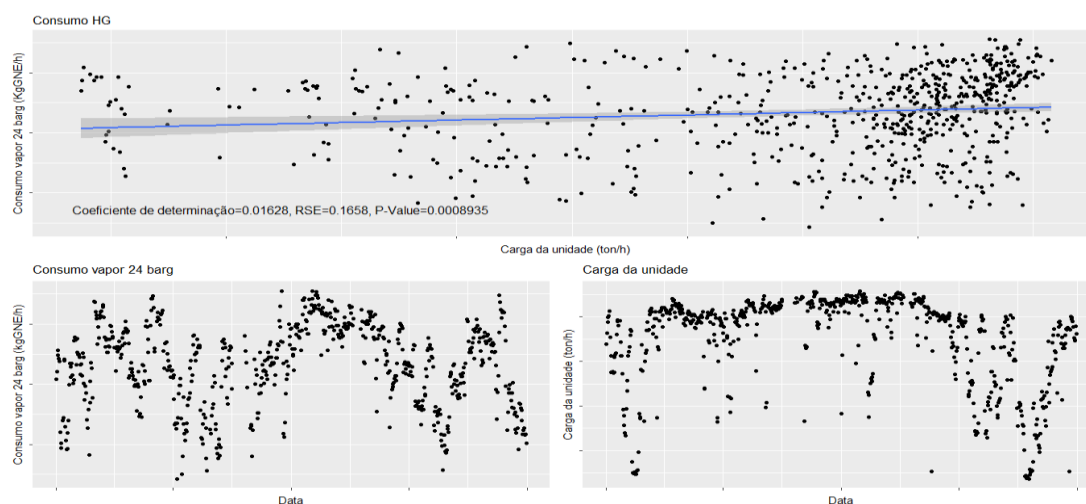


Figura D.6.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise detalhada dos dados, conclui-se que o consumo de vapor 24 barg é independente de qualquer variável explicativa.

Consumo de vapor 10.5 barg

O vapor 10.5 barg é consumido no stripper. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado na unidade anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

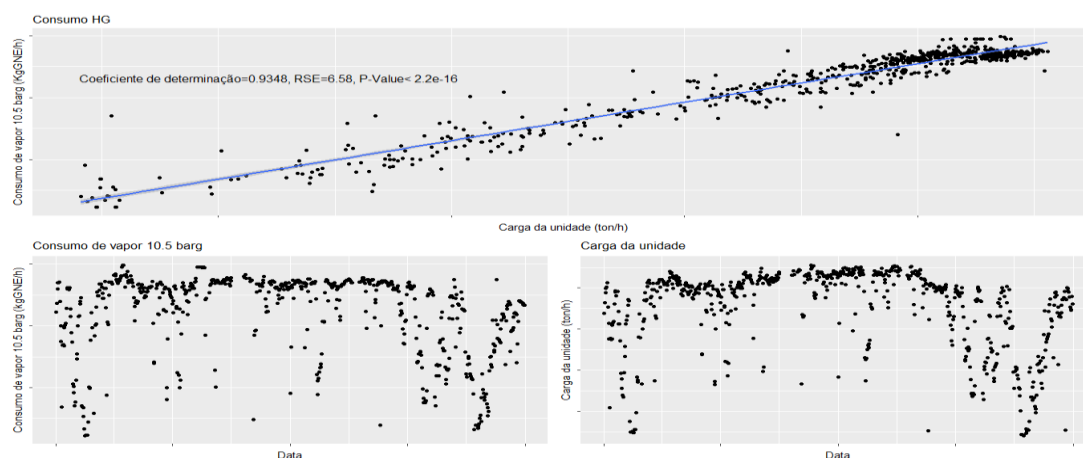


Figura D.6.2-Comportamento do consumo de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

Apesar do modelo linear ser significativo e apresentar uma ótima correlação foram produzidos modelos significativamente diferentes em função do tipo de programa de fabrico.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

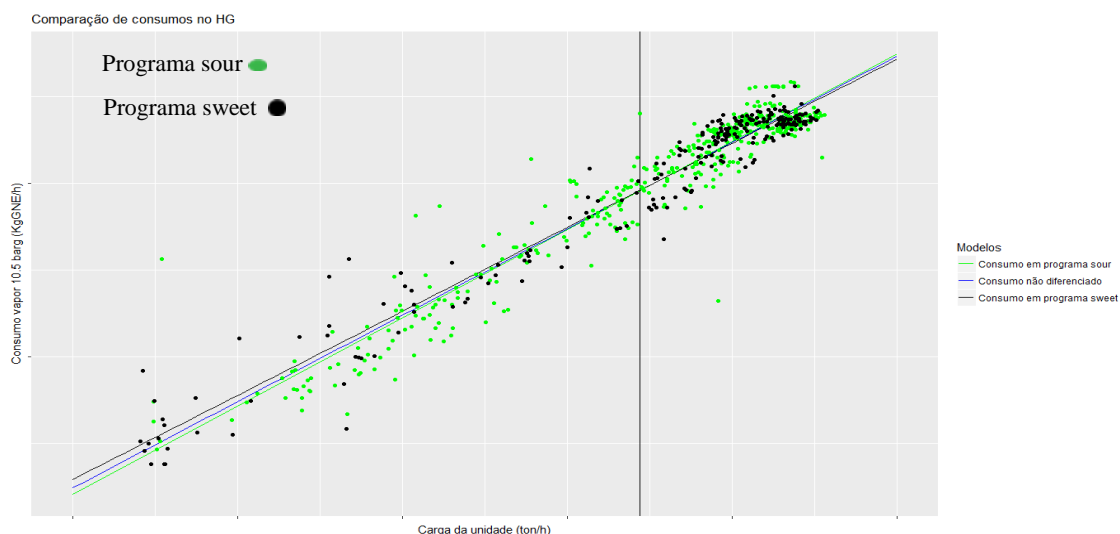


Figura D.6.3-Comparação de modelos lineares.

Apesar dos modelos parecerem bastante semelhantes devido ao baixo erro normalizado e à correlação elevada, estes são significativamente diferentes. Conclui-se que o consumo de vapor 10.5 barg é influenciado de forma significativa pela variação da quantidade de carga e pelo tipo de programa de fabrico, aumentando com o aumento da quantidade da carga.

Consumo de vapor 3.5 barg

Para o consumo de vapor 3.5 barg é utilizado, excecionalmente, o mesmo raciocínio que na análise da eletricidade devido à utilização de balanços mensais, consequência dos erros dos valores a partir dos balanços de utilidade e TAGS para esta utilidade. É representado o comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade através da figura seguinte.

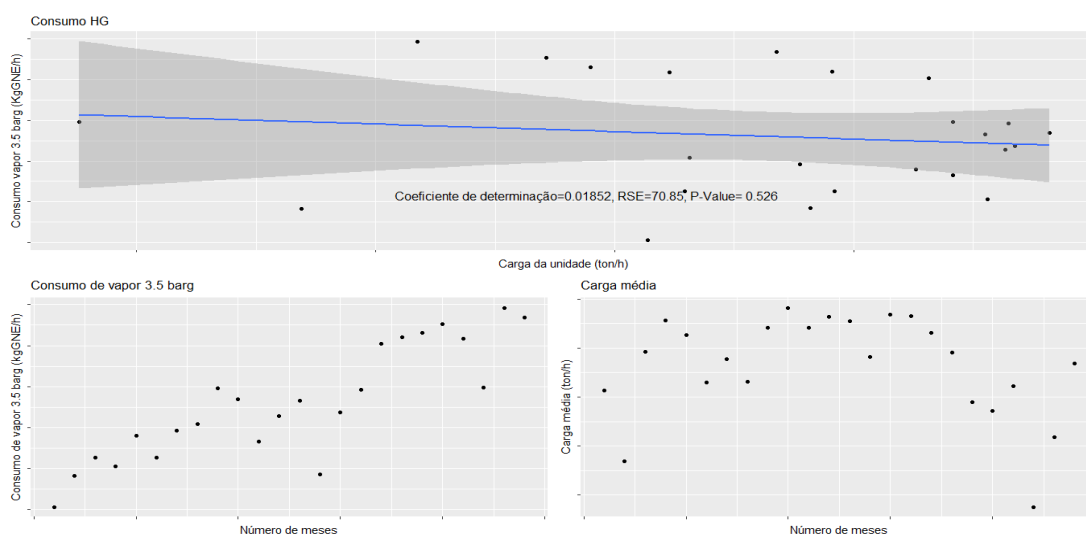


Figura D.6.4-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.6.4, verifica-se que o consumo de vapor 3.5 barg é independente da quantidade de carga da unidade.

Consumo de vapor

Após estudados os diferentes tipos de vapor, em termos individuais, estes são associados num unico grupo, sendo este estudado através de um raciocínio idêntico ao utilizado nas análises anteriores. O comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade são representados graficamente através da figura D.6.5.

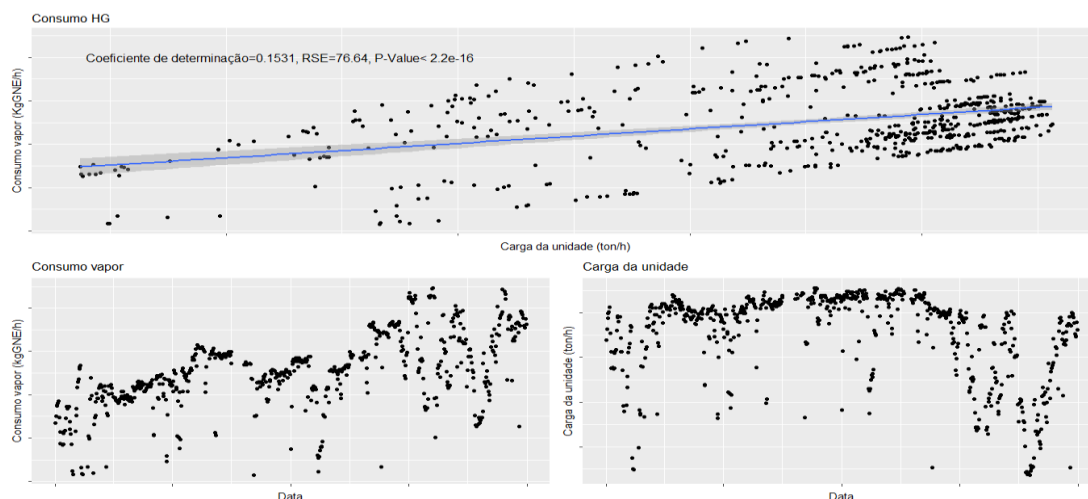


Figura D.6.5-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade.

Apesar do consumo de vapor 24 barg ter um erro associado elevado, verifica-se que o consumo de vapor aumenta com o aumento da quantidade de carga da unidade.

Produção de vapor/Produção de vapor 3.5 barg

Seguindo o mesmo raciocínio que nas análises anteriores é representado graficamente, através da figura D.6.6, o comportamento da produção de vapor e da quantidade de carga da unidade.

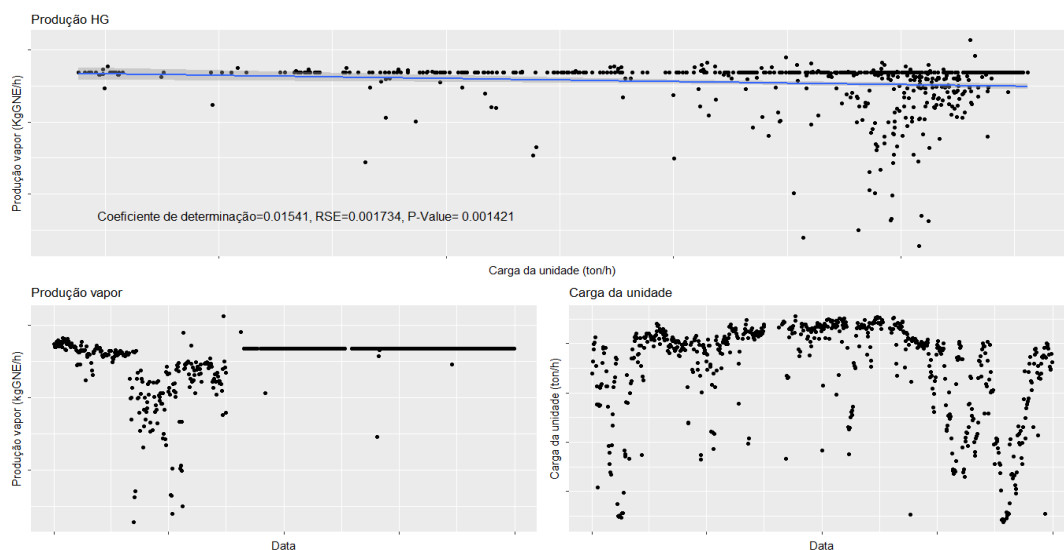


Figura D.6.6-Comportamento da produção de vapor e da quantidade de carga da unidade.

Apesar de se verificar uma alteração da produção de vapor de um estado variável para um estado estagnado em novembro de 2015, esta modificação é mínima, concluindo-se assim que a produção de vapor da unidade é independente em relação a qualquer variável explicativa.

Consumo de fuel gás

O fuel gás é consumido no forno do reactor, representando este o maior consumo da unidade. Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura seguinte, o comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade.

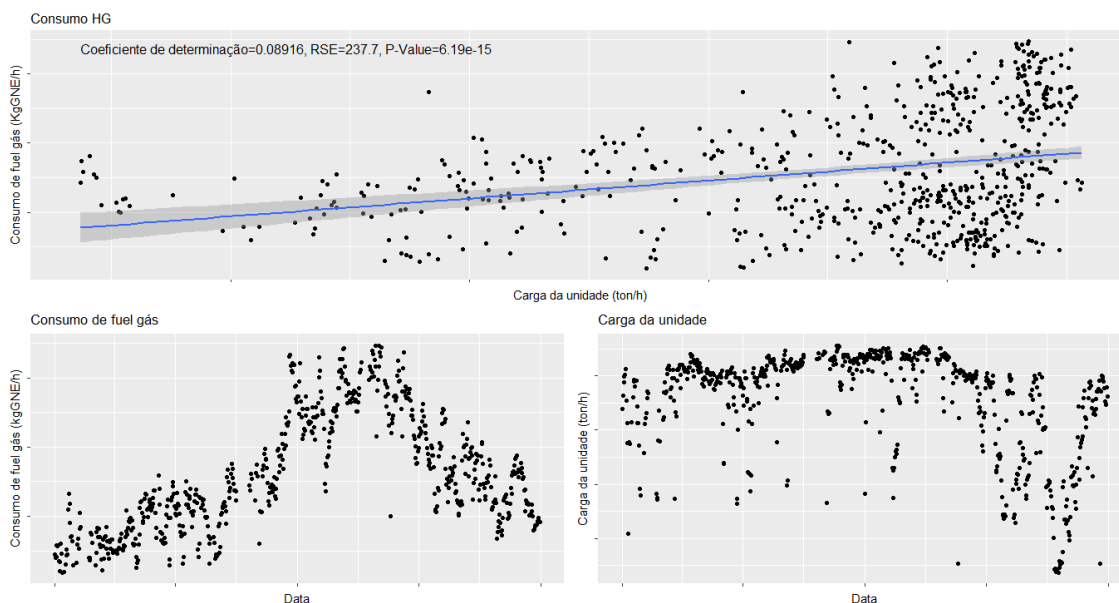


Figura D.6.7-Comportamento do fuel gás e da quantidade de carga da unidade.

Apesar de se observar uma relação bastante significativa entre o consumo de fuel gás e a quantidade de carga da unidade, observa-se que em abril de 2016 a tendência do consumo de fuel gás muda, sem ter sido provocada por qualquer variável explicativa. Deste modo foram estudados em detalhe os dados posteriores e anteriores a abril de 2016, resultando na formação de modelos significativamente diferentes quanto à separação de dados e quanto à separação dos tipos de programas.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

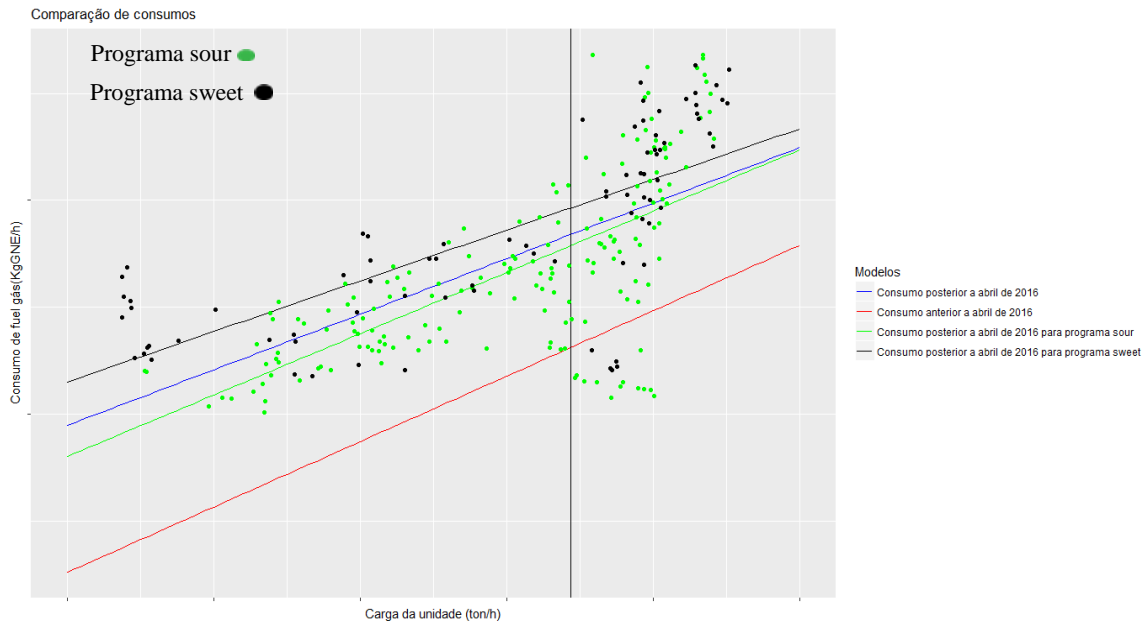


Figura D.6.8-Comparação de modelos lineares.

A tendência do consumo de fuel gás será de aumentar quando a carga aumenta e o programa é *sweet*.

Consumo de eletricidade

Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, analisou-se o comportamento do consumo médio de eletricidade e da quantidade média de carga da unidade. Estes comportamentos são representados através da figura D.6.9.

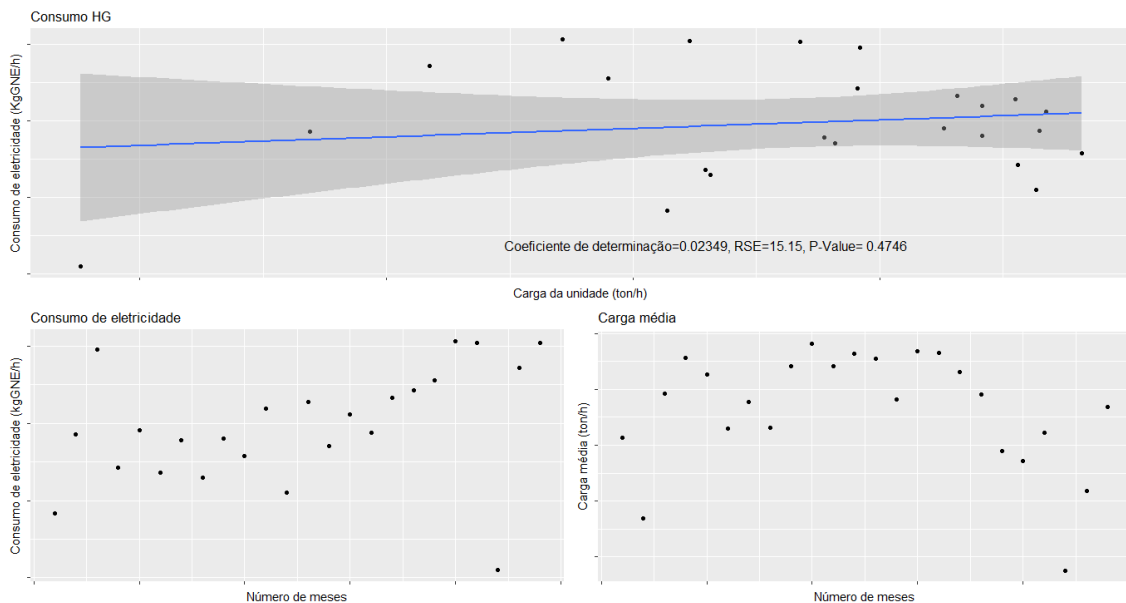


Figura D.6.9-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.6.9, verifica-se que o consumo de eletricidade é independente da quantidade de carga da unidade.

Consumo bruto

Através do raciocínio utilizado na destilação atmosférica analisou-se o comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade. Estes são representados através da figura D.6.10.

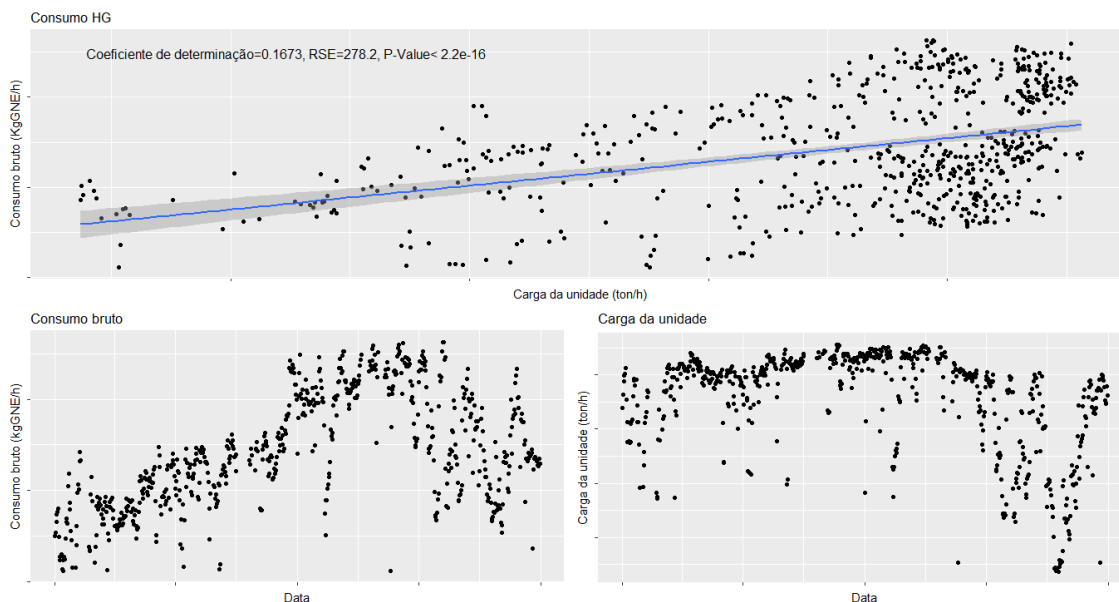


Figura D.6.10-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade.

O comportamento do consumo bruto é semelhante ao comportamento do consumo de fuel gás, dada a sua maior variabilidade e valor, comparativamente com o vapor e a eletricidade. De maneira semelhante ao consumo de fuel gás, verificou-se uma distinção significativa entre os modelos produzidos pelos dados anteriores e posteriores a abril de 2016, porém não se formaram modelos significativamente diferentes em função do tipo de programa de fabrico.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

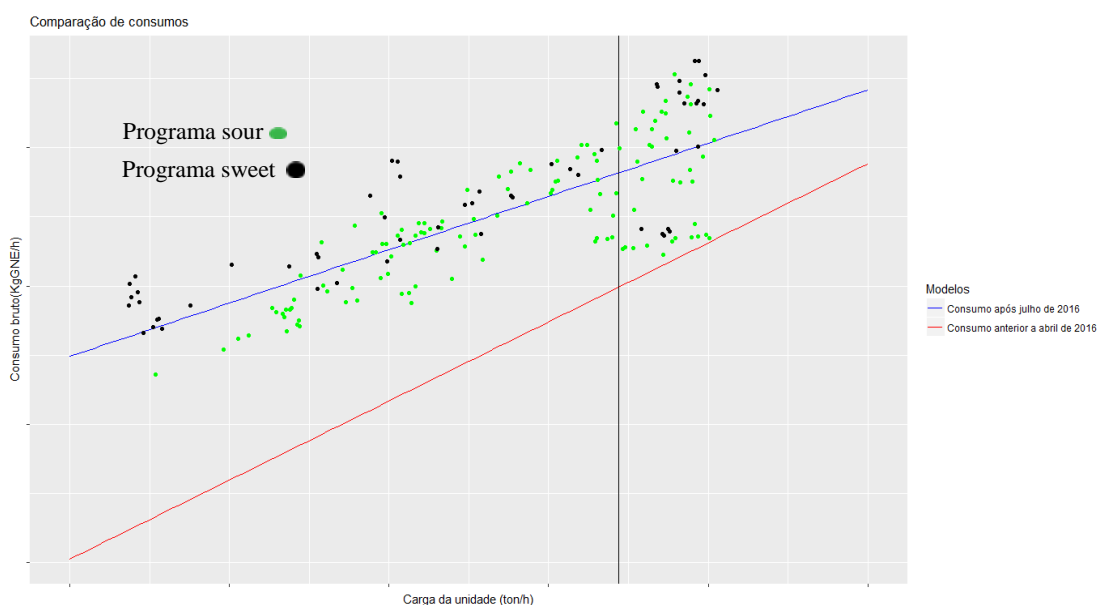


Figura D.6.11-Comparação entre modelos lineares.

Conclui-se que o consumo bruto depende apenas da quantidade de carga, sendo que este aumenta com o aumento da quantidade de carga.

Anexo D.7-Unidade de *reformer* catalítico

Consumo de vapor 24 barg

O vapor 24 barg é consumido nos compressores e nas turbinas. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado na unidade anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

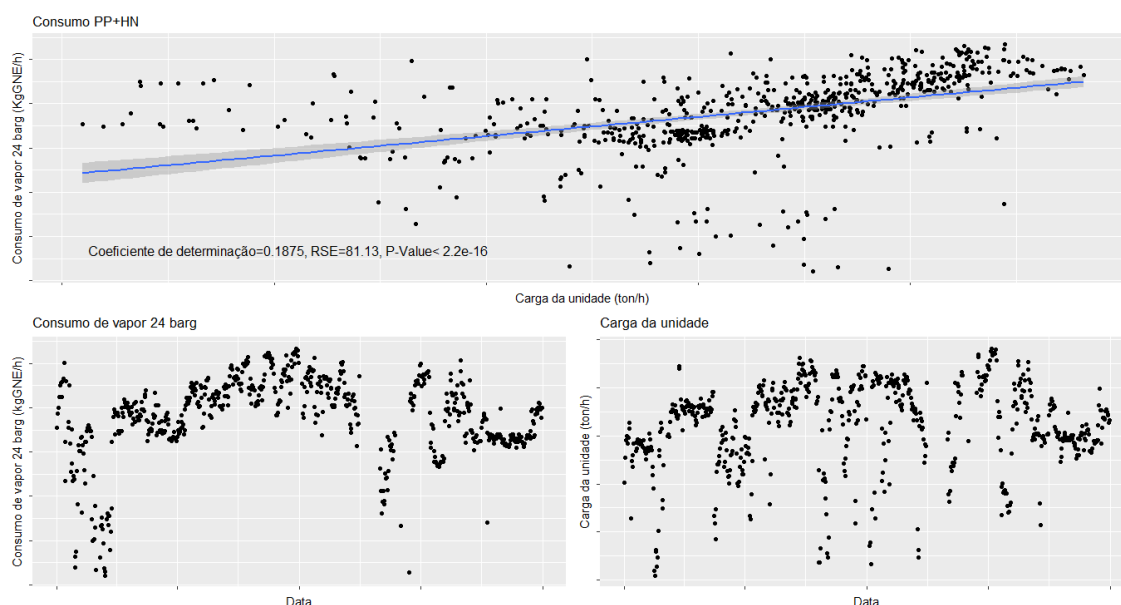


Figura D.7.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

Apenas se verifica uma relação significativa entre o consumo de vapor 24 barg e a quantidade de carga, sendo que o consumo aumenta com o aumento da quantidade de carga, porém de modo a reduzir a variabilidade dos valores realizou-se um teste estatístico entre os modelos produzidos por dados posteriores e anteriores a maio de 2016, sendo estes considerados significativamente diferentes.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

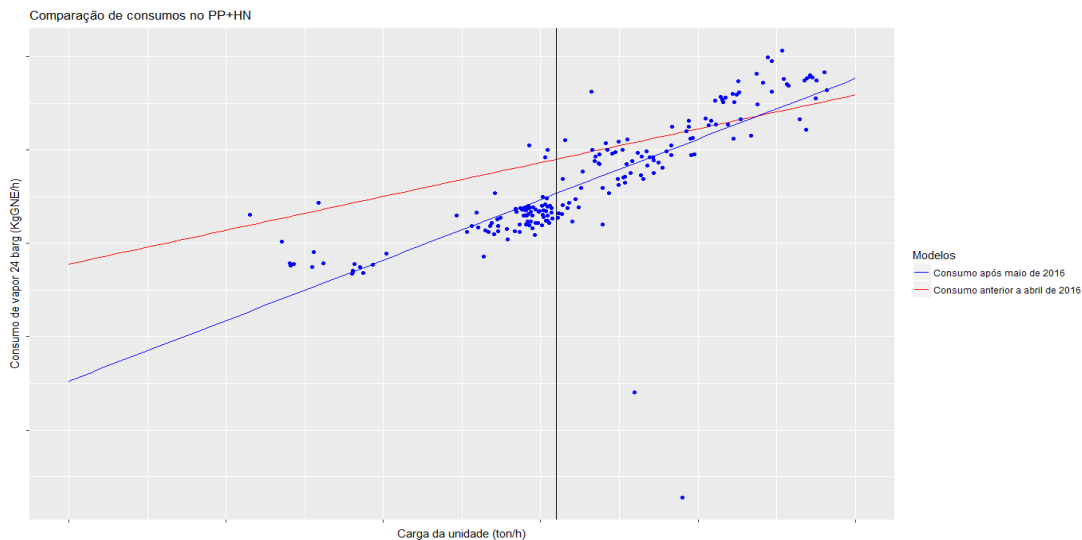


Figura D.7.2-Comparação de modelos lineares.

Através da análise da figura D.7.2, conclui-se que o consumo de vapor 24 barg aumenta com o aumento da quantidade de carga da unidade, sendo independente em relação a qualquer outra variável explicativa.

Produção de vapor 24 barg

O vapor 24 barg é produzido principalmente nos fornos através de turbinas. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado na unidade anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

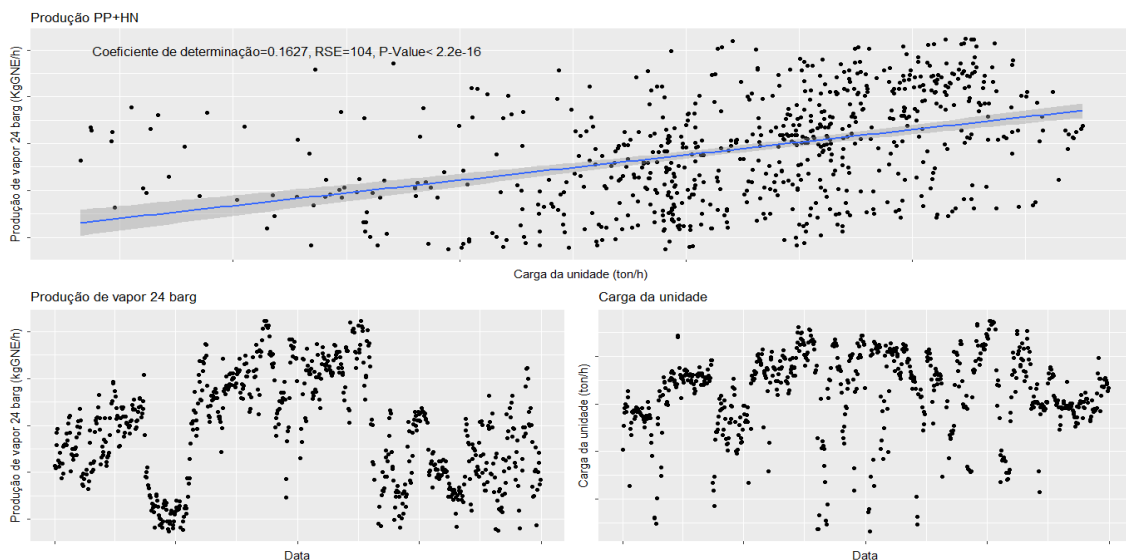


Figura D.7.3-Comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

À semelhança do consumo de vapor 24 barg, a produção de vapor 24 barg só apresenta uma variação significativa quando relacionada com a quantidade de carga da unidade. De maneira semelhante ao caso anterior, verificou-se que os dados posteriores e anteriores a maio de 2016 produzem dois modelos significativamente distintos, sendo estes, após a utilização dos testes estatísticos, representados através da figura D.7.4.

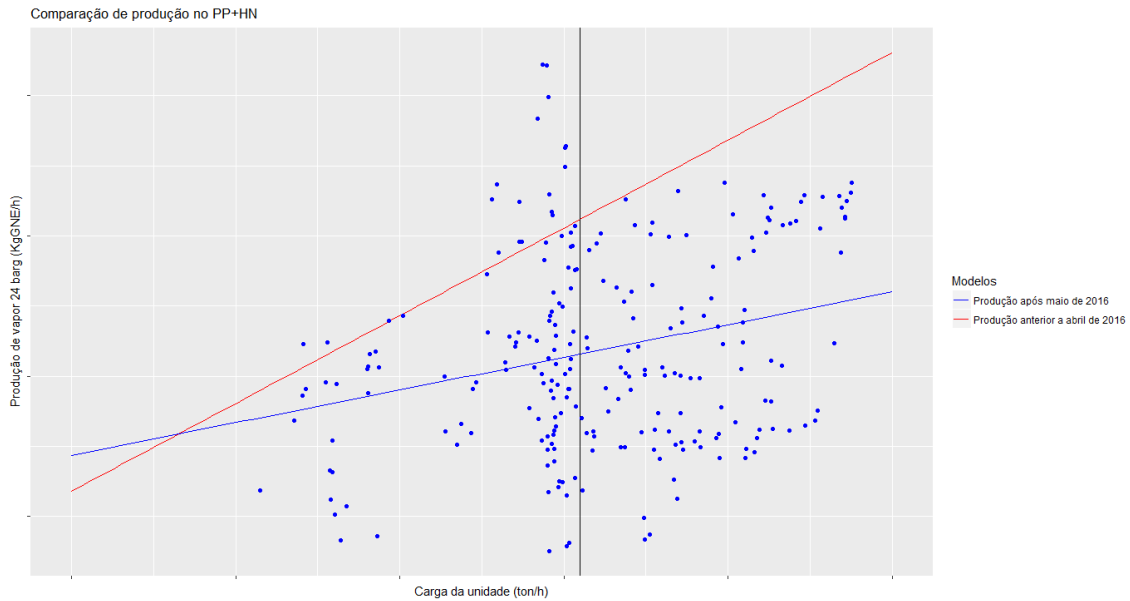


Figura D.7.4-Comparação de modelos lineares.

Apesar da diminuição de variação entre os consumos com quantidades de carga semelhantes, estes ainda apresentam uma variabilidade bastante elevada, porém o comportamento do modelo é bastante evidente, sendo que a produção de vapor 24 barg aumenta com o aumento da quantidade de carga da unidade.

Consumo de vapor 10.5 barg

O vapor 10.5 barg é consumido nos compressores e nas turbinas. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado na unidade anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

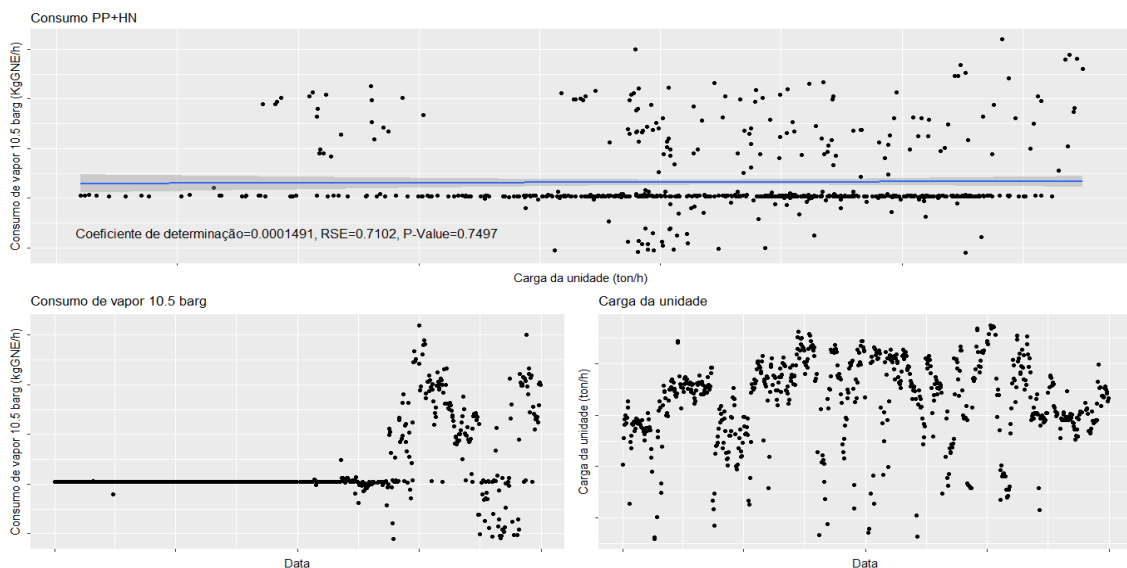


Figura D.7.5-Comportamento do consumo de vapor 10.5 barg.

Através da análise da figura D.7.5, observa-se uma mudança no consumo de vapor 10.5 barg em abril de 2016, sendo que o valor passa de um estado de estagnação para variação. Deste

modo, representou-se, através da figura D.7.6, os modelos significativamente diferentes produzidos através dos dados de 2015 e dos dados posteriores a julho de 2016.

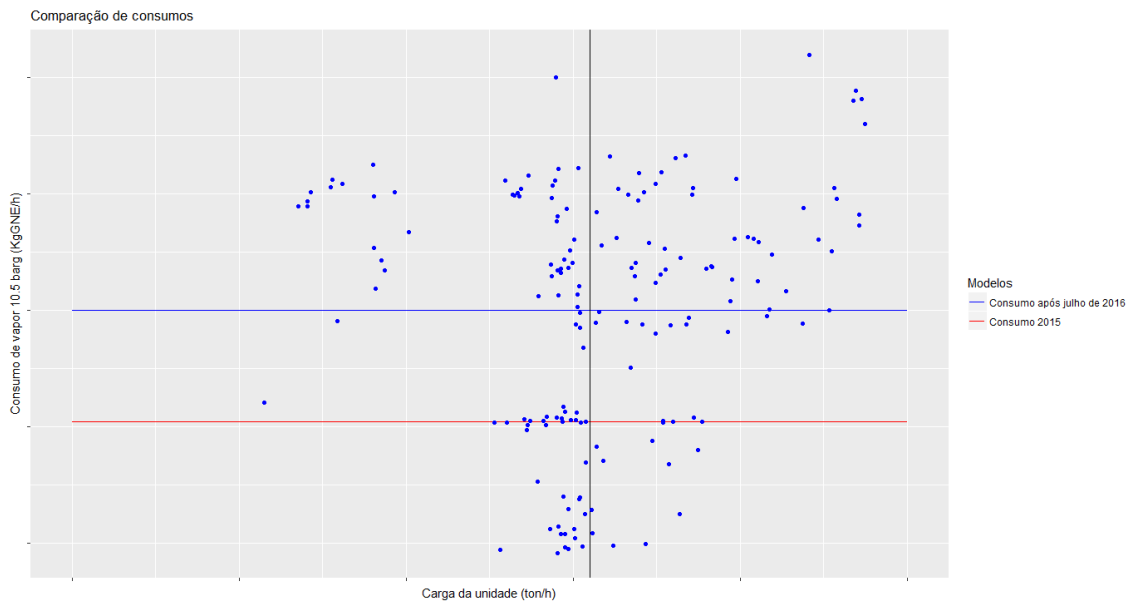


Figura D.7.6-Comparação de modelos lineares.

Observa-se, através da figura D.7.6, uma variação bastante elevada dos dados, sendo que nos dois modelos o consumo de vapor 10.5 barg é independente em relação à carga da unidade, sendo assim independente em relação a qualquer variável explicativa.

Produção de vapor 10.5 barg

O vapor 10.5 barg é produzido nas turbinas associadas ao compressor. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado na unidade anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento de produção de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

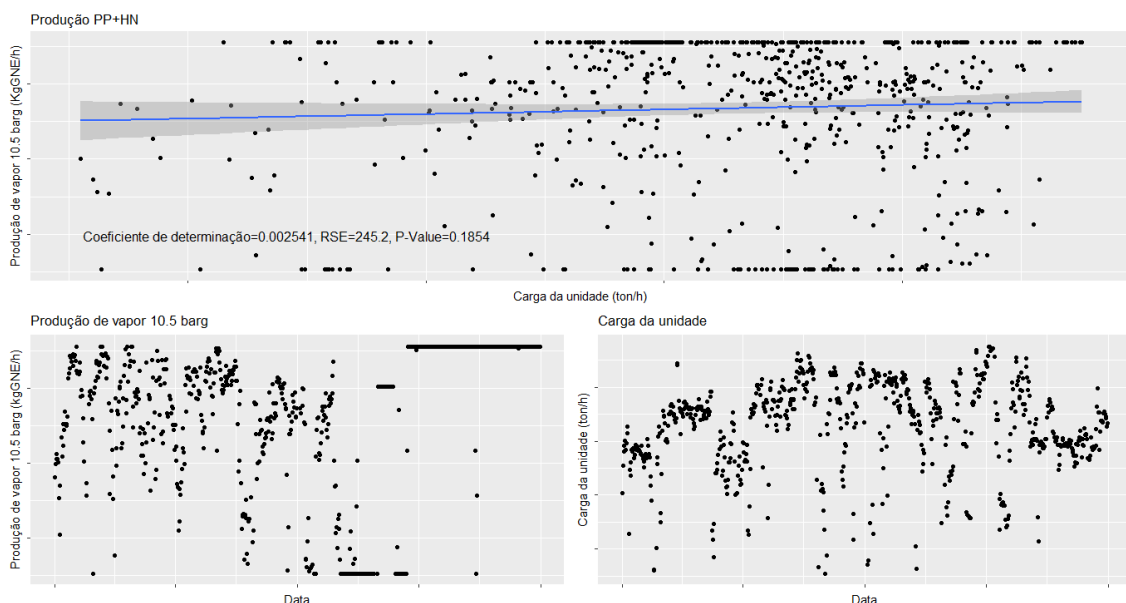


Figura D.7.7-Comportamento da produção de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

Em oposição ao consumo de vapor 10.5 barg, a produção de vapor 10.5 barg passa de um conjunto de valores variáveis para valores estagnados, sendo os modelos produzidos através dos dados de 2015 e dos dados posteriores a julho de 2016 significativamente diferentes. O modelo produzido através dos dados posteriores a julho de 2016 indica que a produção de vapor 10.5 barg é independente a qualquer variável explicativa.

Produção de vapor 3.5 barg

O vapor 3.5 barg é produzido principalmente em turbinas. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado na unidade anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento de produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

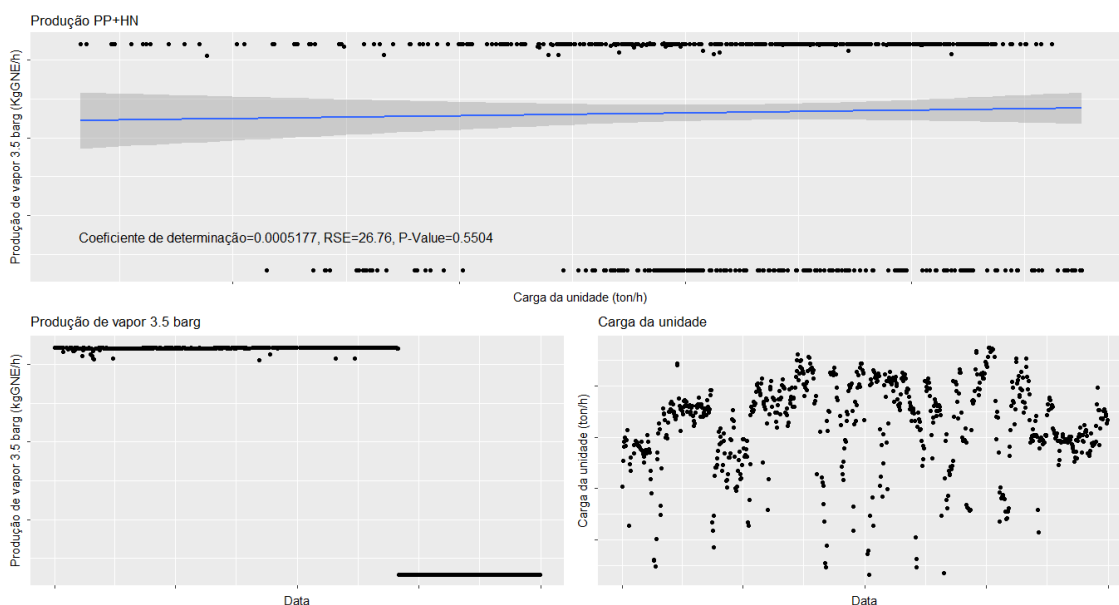


Figura D.7.8-Comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.7.8, observa-se que em junho de 2016 ocorre uma diminuição significativa quanto à produção de vapor 3.5 barg, sendo esta independente de qualquer variável explicativa.

Consumo de vapor

Após estudados os diferentes tipos de vapor, em termos individuais, estes são associados num unico grupo, sendo este estudado através de um raciocínio idêntico ao utilizado nas análises anteriores. O comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade são representados graficamente através da figura D.7.9.

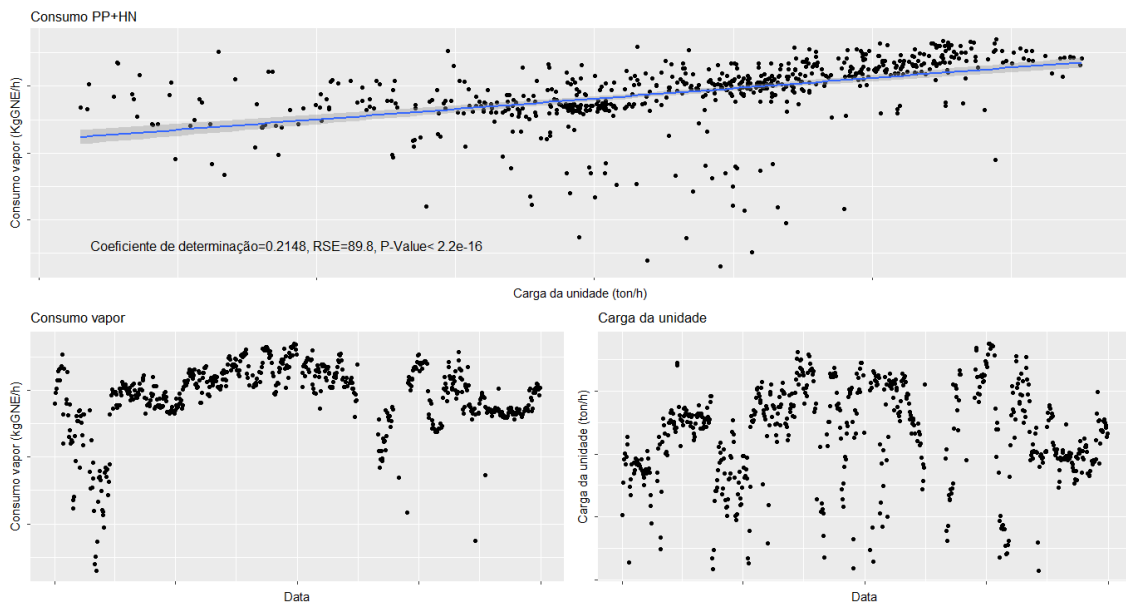


Figura D.7.9-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga.

Devido à diferença quanto à quantidade consumida, o consumo de vapor expressa o mesmo comportamento que o consumo de vapor 24 barg, observando-se uma relação de dependência entre o consumo de vapor e a carga à unidade. Tal como para o consumo de vapor 24 barg, realizou-se uma análise em detalhe para os dados posteriores e anteriores a maio de 2016 com o fim de se evitar uma variabilidade elevada quanto aos consumos, porém a distinção entre os dados não foi considerada significativa. Em suma, os consumos de vapor apenas variam de forma significativa com a quantidade de carga, sendo que quando esta aumenta o consumo aumenta.

Produção de vapor

Seguindo o mesmo raciocínio que nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.7.10, o comportamento da produção de vapor e da quantidade de carga da unidade.

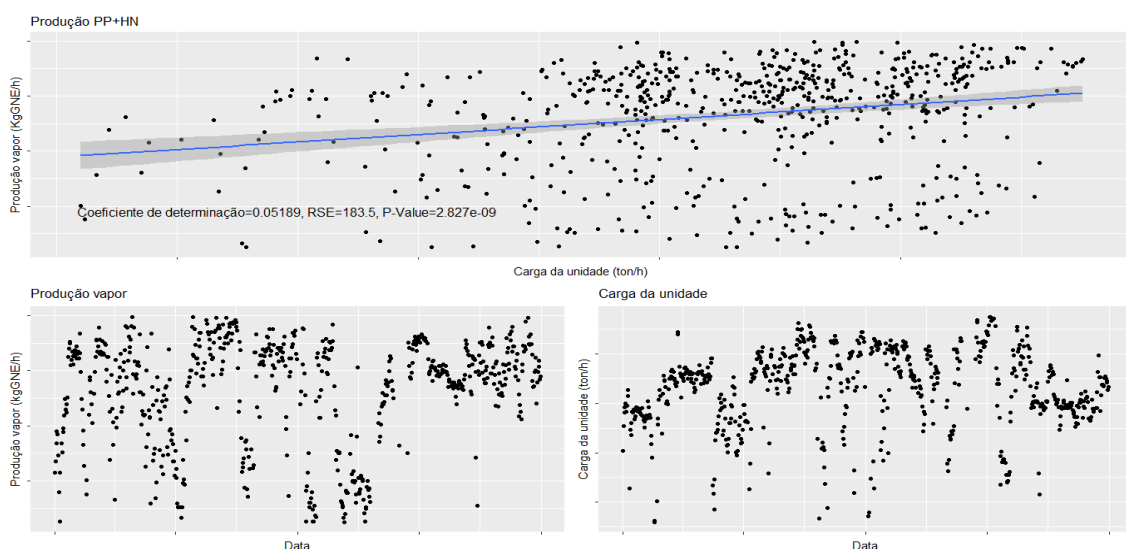


Figura D.7.10-Comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.7.10, observa-se que a produção de vapor apresenta um comportamento semelhante em relação à produção de vapor 24 barg, isto deve-se ao facto das restantes produções apresentarem valores constantes em diversos períodos de tempo. De modo a minimizar a variância entre as produções e porque ocorre uma variação considerável, formaram-se dois modelos significativamente distintos utilizando os dados anteriores a abril de 2016 e posteriores a julho de 2016.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

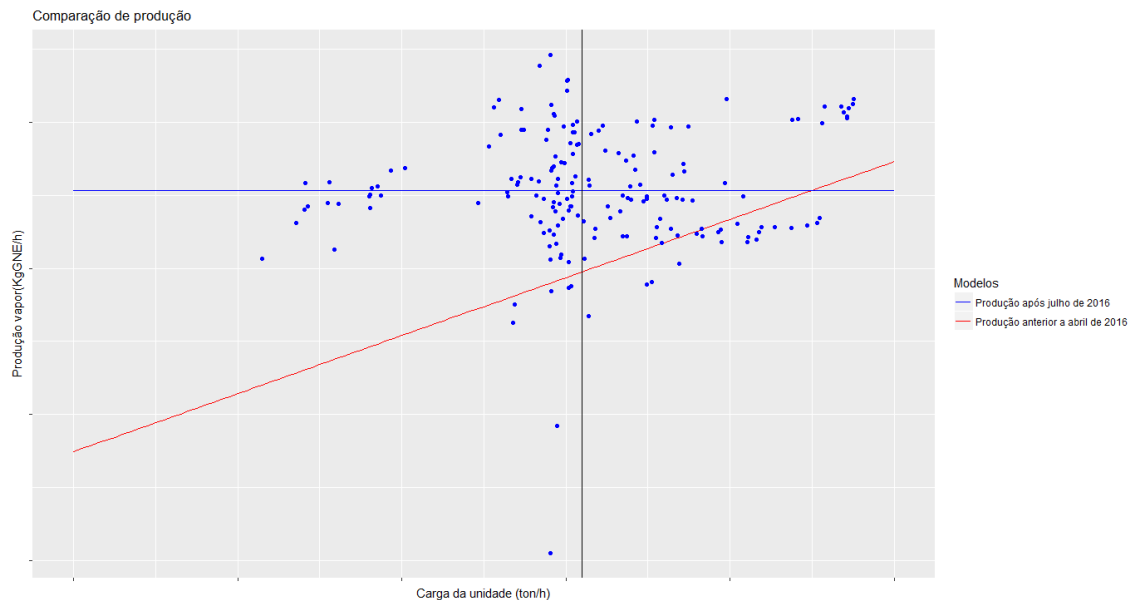


Figura D.7.11-Comparação entre modelos lineares.

Apesar da produção de vapor 24 barg ser dependente da quantidade de carga da unidade, o impacto das produções de vapor 10.5 e 3.5 barg fazem com que, de um modo geral, a produção de vapor seja independente da quantidade de carga da unidade. Em suma, a produção de vapor na unidade é independente de qualquer variável explicativa devido à elevada variabilidade das produções.

Consumo de fuel gás

O fuel gás é consumido nos fornos, sendo este o maior consumo da unidade. Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.7.12, o comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade.

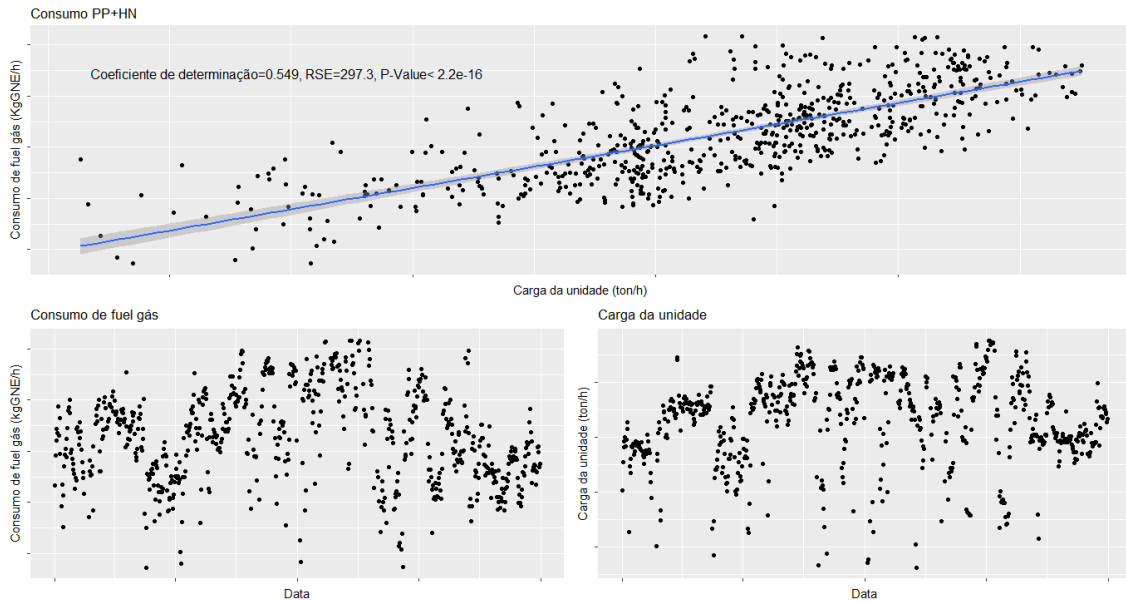


Figura D.7.12-Comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.7.12, verifica-se uma relação dependente entre o consumo de fuel gás e a quantidade de carga da unidade, sendo que as restantes variáveis explicativas, incluindo o *fouling*, não têm relação significativa com o consumo. Analisou-se em detalhe os modelos produzidos pelos dados anteriores a abril de 2016 e posteriores a junho de 2016, concluindo-se que estes são significativamente diferentes.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

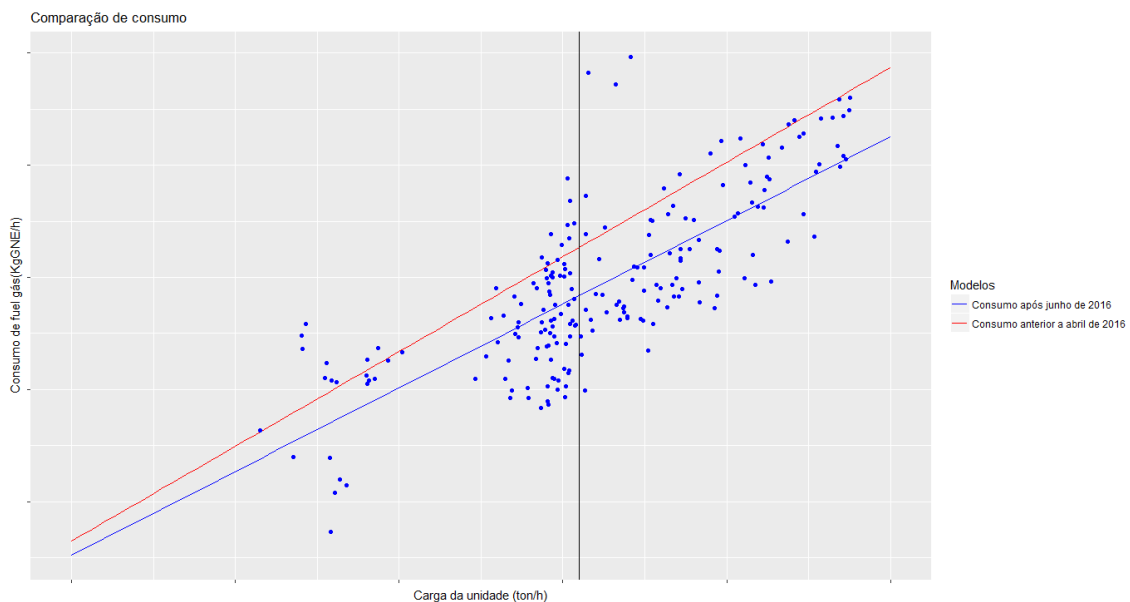


Figura D.7.13-Comparação entre modelos lineares.

Conclui-se a partir dos modelos apresentados que o consumo de fuel gás é dependente da quantidade de carga da unidade, sendo que quando a quantidade de carga aumenta, o consumo de fuel gás aumenta.

Consumo de eletricidade

Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, analisou-se o comportamento do consumo médio de eletricidade e da quantidade média de carga da unidade. São representados estes comportamentos através da figura D.7.14.

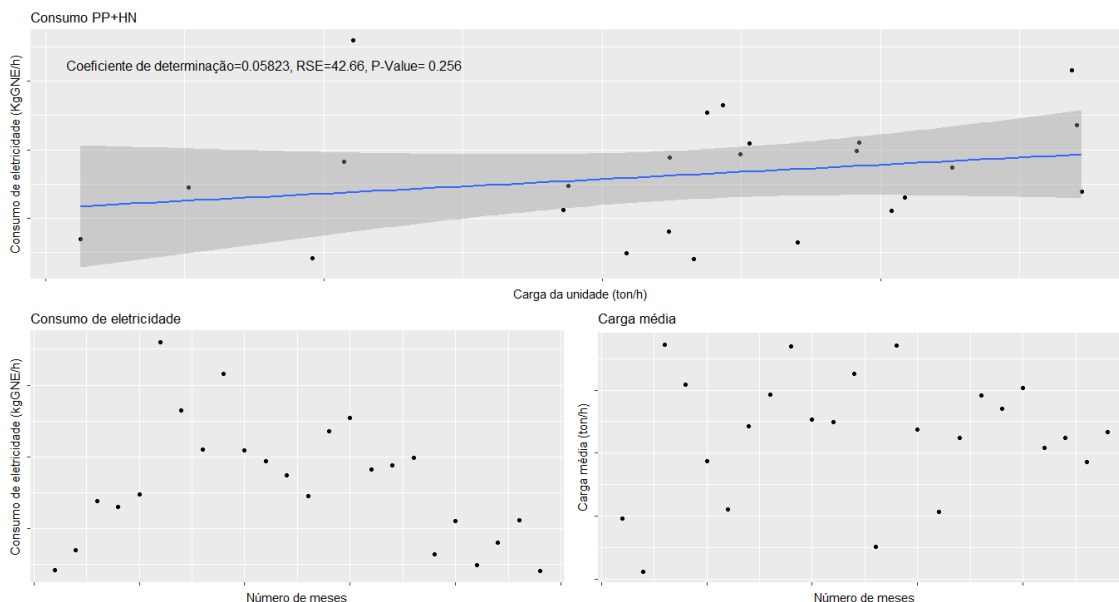


Figura D.7.14-Comportamento do consumo de eletricidade e quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.7.14, verifica-se que o consumo de eletricidade é independente da quantidade de carga da unidade.

Consumo bruto

Através do raciocínio utilizado na destilação atmosférica analisou-se o comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade. Estes são representados através da figura D.7.15.

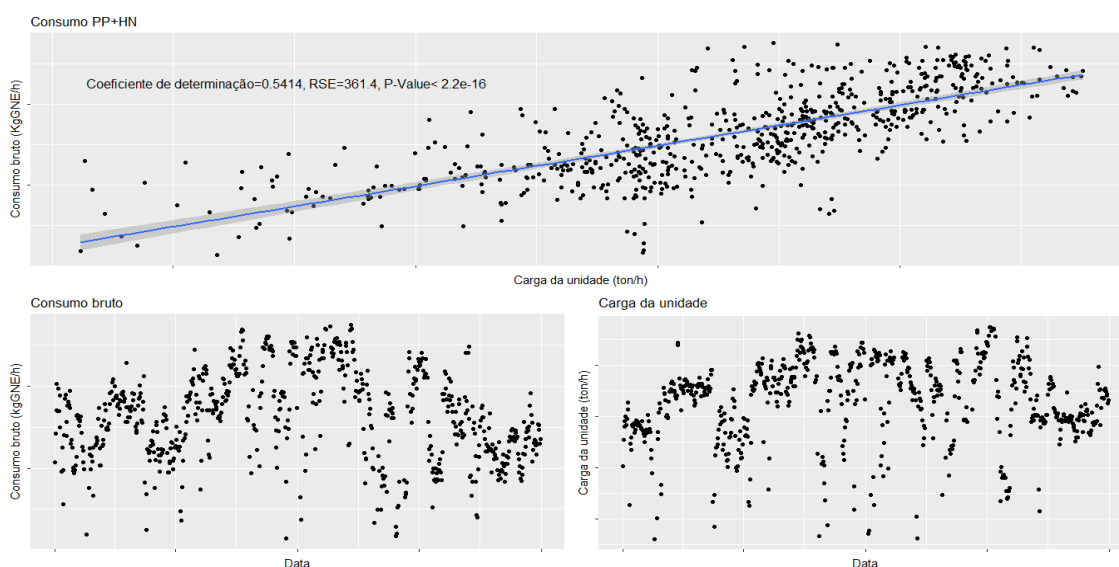


Figura D.7.15-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade.

O consumo bruto da unidade apresenta um comportamento semelhante ao consumo de fuel gás, pois este representa cerca de 74% do consumo bruto. À semelhança do consumo de fuel gás, o consumo bruto apresenta uma dependência em relação à quantidade de carga da unidade, sendo independente das restantes variáveis explicativas. Com o fim de diminuir a variabilidade de valores, sendo que existe uma variação considerável em julho de 2016, foram formados dois modelos significativamente diferentes com dados posteriores e anteriores a julho de 2016.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

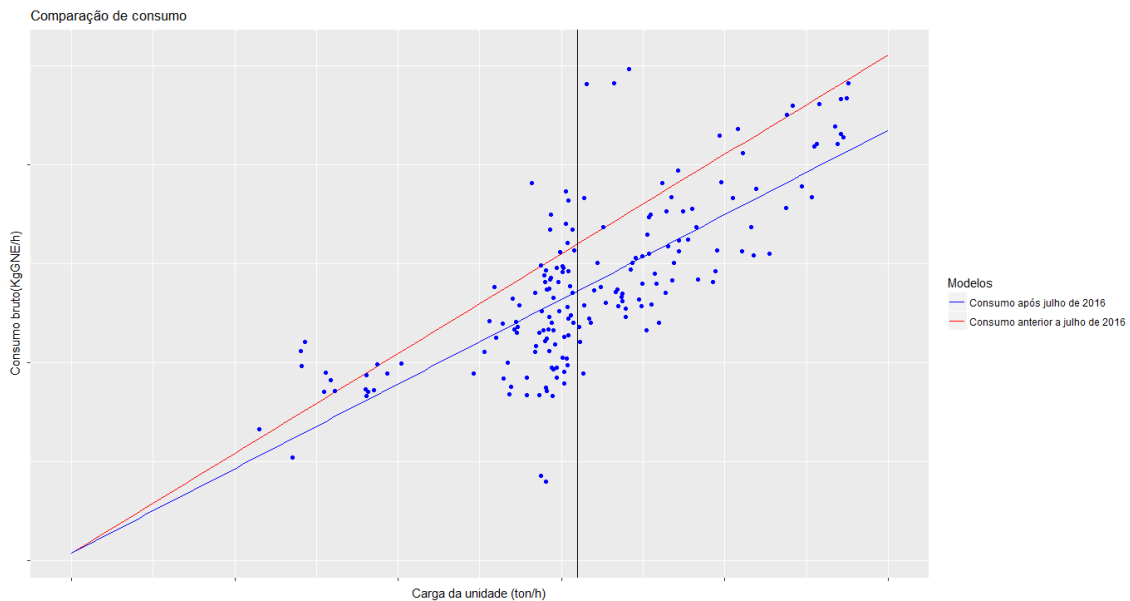


Figura D.7.16-Comparação de modelos lineares.

Através da análise da figura D.7.16, conclui-se que para ambos os modelos obtidos o consumo bruto aumenta com o aumento da quantidade de carga da unidade.

Anexo D.8-HI

Consumo de vapor 24 barg

O vapor 24 barg é consumido no permutador HI-E2. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado na unidade anterior, sendo que invés de se estudar a quantidade de carga da unidade, estuda-se a produção de hidrogénio da mesma.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 24 barg e da produção de hidrogénio da unidade.

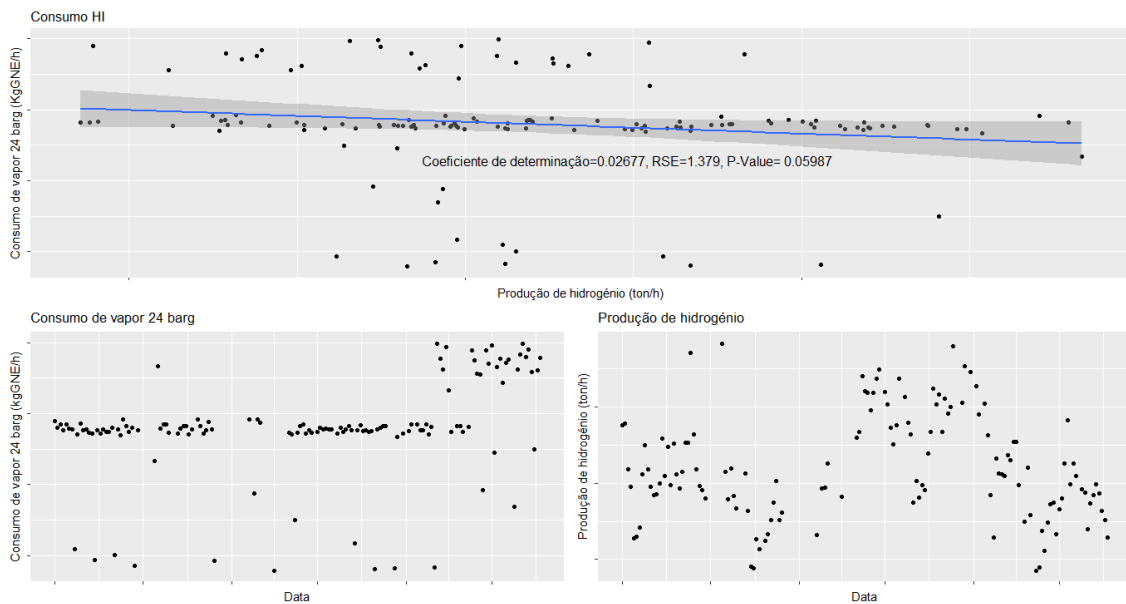


Figura D.8.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da produção de hidrogénio da unidade.

Apesar de se verificar uma distinção entre os valores posteriores a dezembro e anteriores a novembro de 2016, os modelos formados através dos dois grupos de dados não são significativamente diferentes entre si. Conclui-se que o consumo de vapor 24 barg é independente em relação a qualquer variável explicativa.

Produção de vapor/Produção de vapor 24 barg

O vapor 24 barg é produzido no permutador HI-E2 e produzido para exportação. O raciocínio utilizado na análise desta produção é idêntico ao utilizado na unidade anterior, sendo que invés de se estudar a quantidade de carga da unidade, estuda-se a produção de hidrogénio da mesma.

Através da figura seguinte é representado o comportamento da produção de vapor 24 barg e da produção de hidrogénio da unidade.

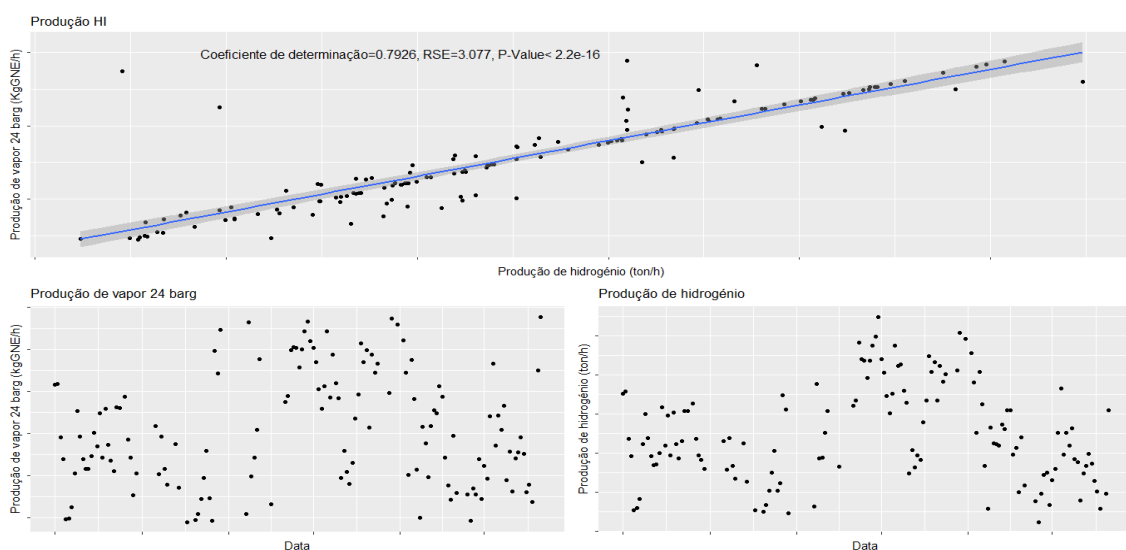


Figura D.8.2-Comportamento da produção de vapor e da quantidade produzida de hidrogénio na unidade.

Através da análise da figura D.8.2, conclui-se que a produção de vapor depende exclusivamente da quantidade produzida de hidrogénio na unidade, sendo que quando esta aumenta, a produção de vapor aumenta.

Consumo de vapor 3.5 barg

O vapor 3.5 barg é consumido nos permutadores. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado no consumo de vapor 24 barg.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da produção de hidrogénio da unidade.

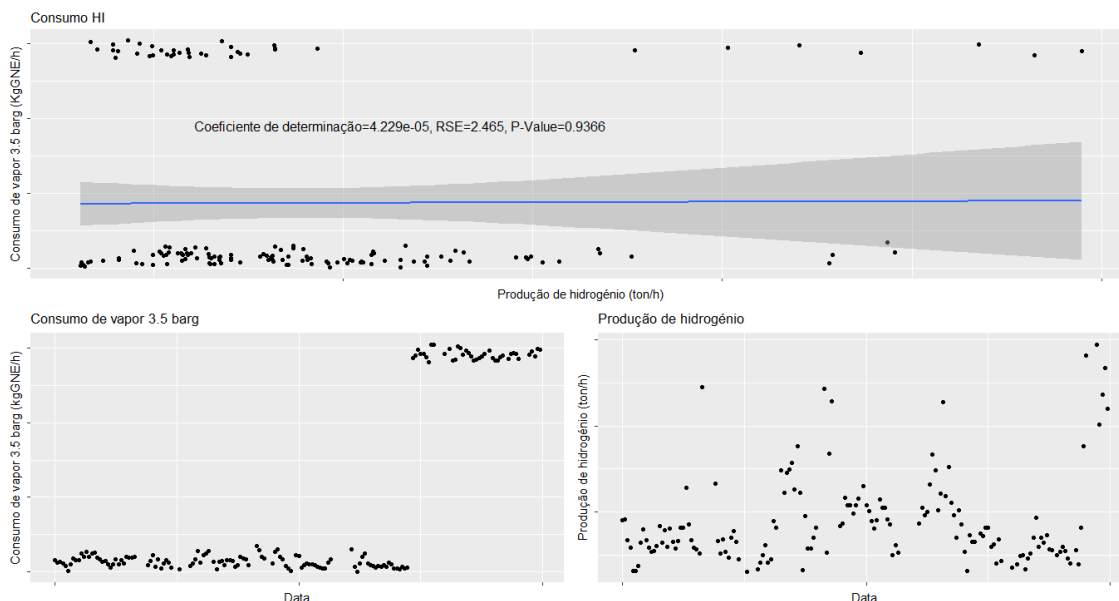


Figura D.8.3-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade produzida de hidrogénio na unidade.

Apesar do consumo de vapor 3.5 barg aumentar de forma considerável em novembro de 2016, a análise destes dois grupos de dados demonstrou que o consumo de vapor 3.5 barg é independente em relação a qualquer variável explicativa.

Consumo de vapor

Após estudados os diferentes tipos de vapor, em termos individuais, estes são associados num unico grupo, sendo este estudado através de um raciocínio idêntico ao utilizado nas análises anteriores. O comportamento do consumo de vapor e da produção de hidrogénio da unidade são representados graficamente através da figura D.8.4.

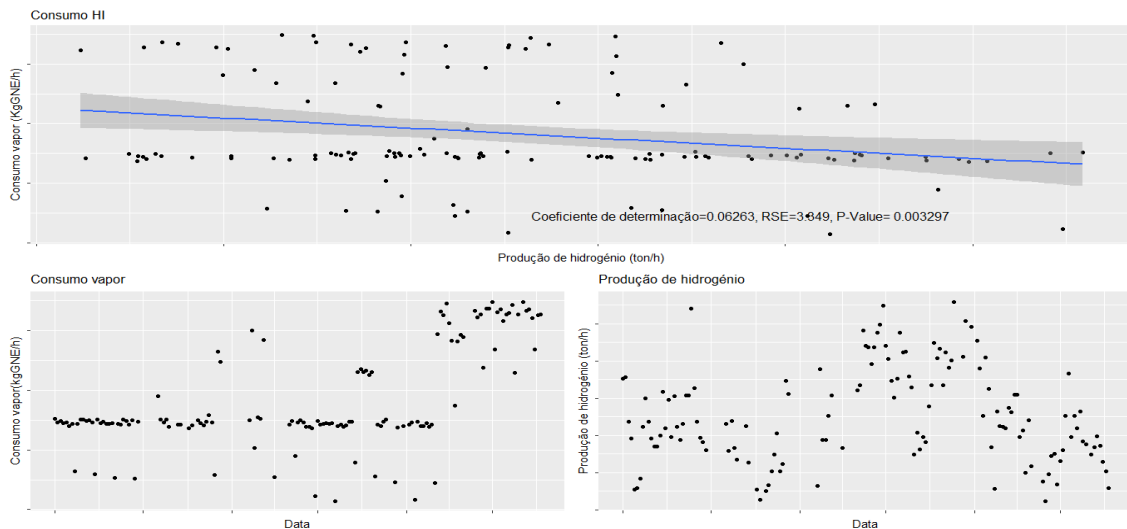


Figura D.8.4-Comportamento do consumo de vapor e da produção de hidrogénio da unidade.

À semelhança dos dois consumos de vapor previamente analisados, ocorre uma variação considerável em novembro de 2016 sendo que nesta análise os dois modelos produzidos foram considerados semelhantes. Em suma, apesar da variabilidade elevada dos valores de consumo, o consumo de vapor diminui com o aumento da produção de hidrogénio.

Consumo de tail gás

O tail gás é consumido no forno. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado na análise anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do tail gás e da produção de hidrogénio da unidade.

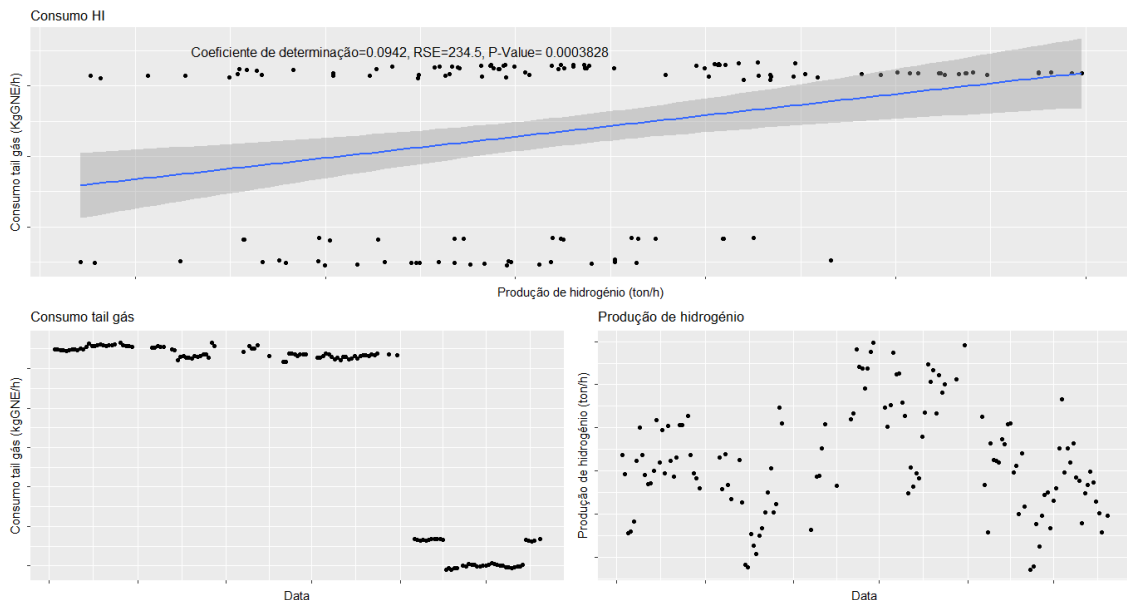


Figura D.8.5-Comportamento do consumo de tail gás e da produção de hidrogénio da utilidade.

Apesar de se notar uma alteração considerável, no início de novembro de 2016, os dois modelos produzidos através os dados anteriores e posteriores a esse período de tempo são independentes em relação a qualquer variável explicativa.

Consumo de gás natural

O gás natural é consumido no forno. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado na análise anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do gás natural e da produção de hidrogénio da unidade.

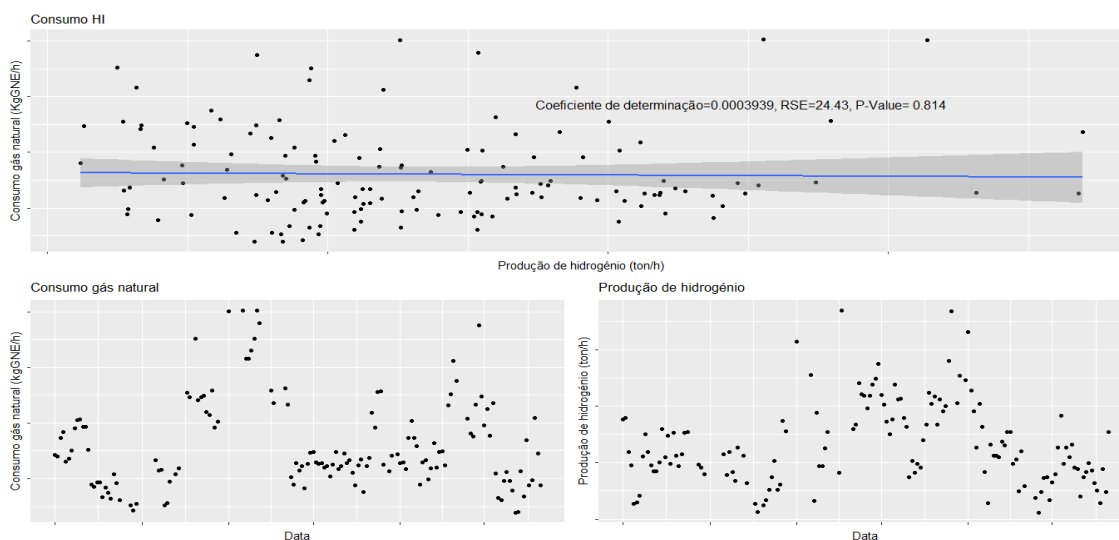


Figura D.8.6-Comportamento do consumo de gás natural e da produção de hidrogénio da unidade.

Não sendo possível a formação de dois modelos significativamente diferentes através da utilização de intervalos de dados diferentes, conclui-se que o consumo de gás natural não é influenciado de maneira significativa por qualquer variável explicativa.

Consumo de combustível

Seguindo o mesmo raciocínio que nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.8.7, o comportamento do combustível e da produção de hidrogénio da unidade.

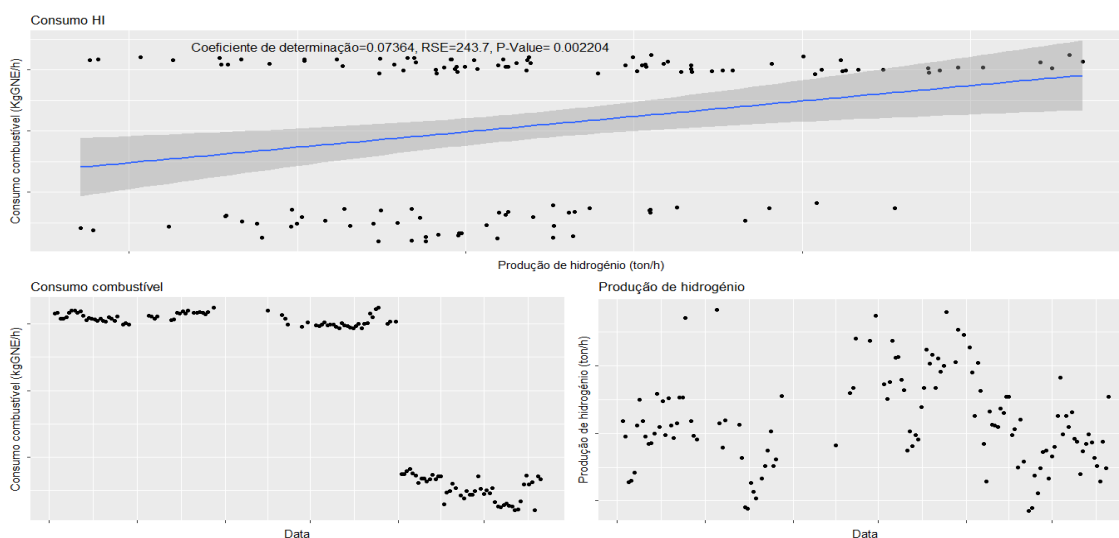


Figura D.8.7-Comportamento do consumo de combustível e da produção de hidrogénio da unidade.

Apesar do consumo de combustível apresentar um comportamento semelhante ao tail gás e serem formados dois modelos significativamente diferentes através dos dados anteriores e posteriores a novembro de 2016, observa-se uma relação de dependência do consumo de combustível utilizando os dados anteriores a novembro de 2016. Porém utilizando os dados mais próximos do período actual, observa-se uma independência do consumo de combustível em relação à produção de hidrogénio na unidade.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

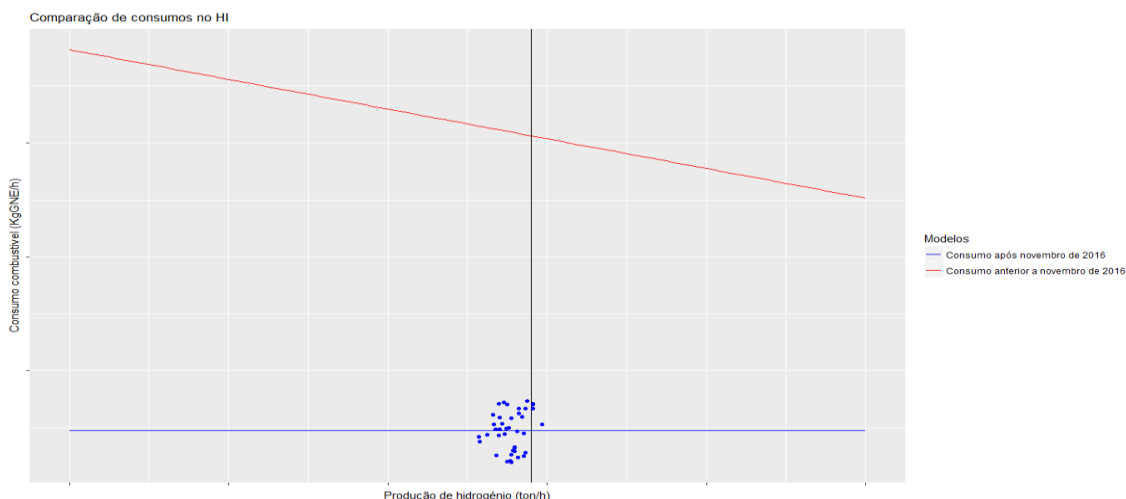


Figura D.8.8-Comparação entre modelos lineares.

Conclui-se, através dos dados mais próximos da situação atual, que o consumo de combustível é independente em relação à quantidade produzida de hidrogénio na unidade.

Consumo de eletricidade

Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, analisou-se o comportamento do consumo médio de eletricidade e da quantidade média de carga da unidade. São representados estes comportamentos através da figura D.8.9.

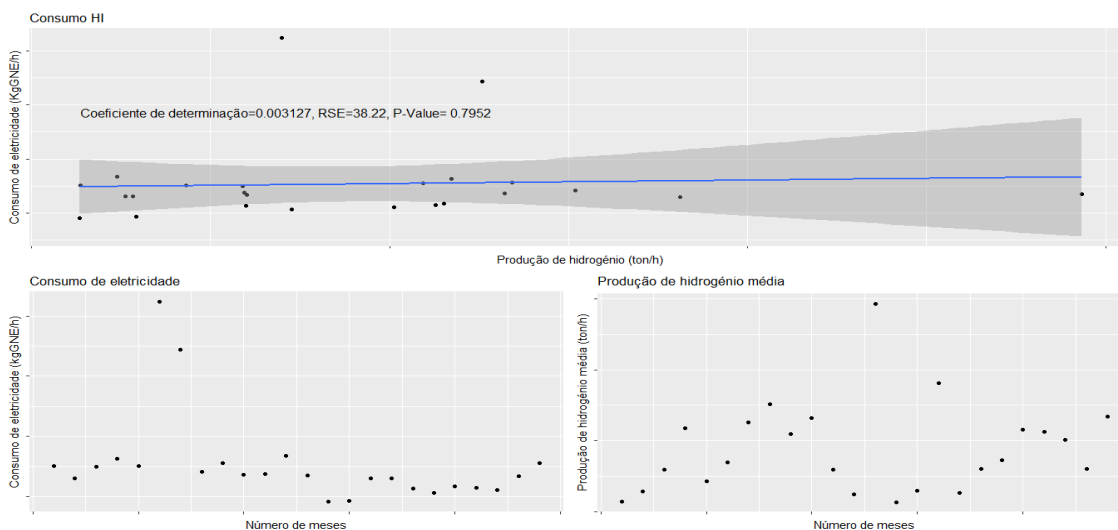


Figura D.8.9-Comportamento do consumo de eletricidade e da produção de hidrogénio da unidade.

Através da análise da figura D.8.9, verifica-se que o consumo de eletricidade é independente da quantidade de hidrogénio produzida na unidade.

Consumo bruto

Seguindo o mesmo raciocínio que nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.8.10, o comportamento do consumo bruto e da produção de hidrogénio da unidade.

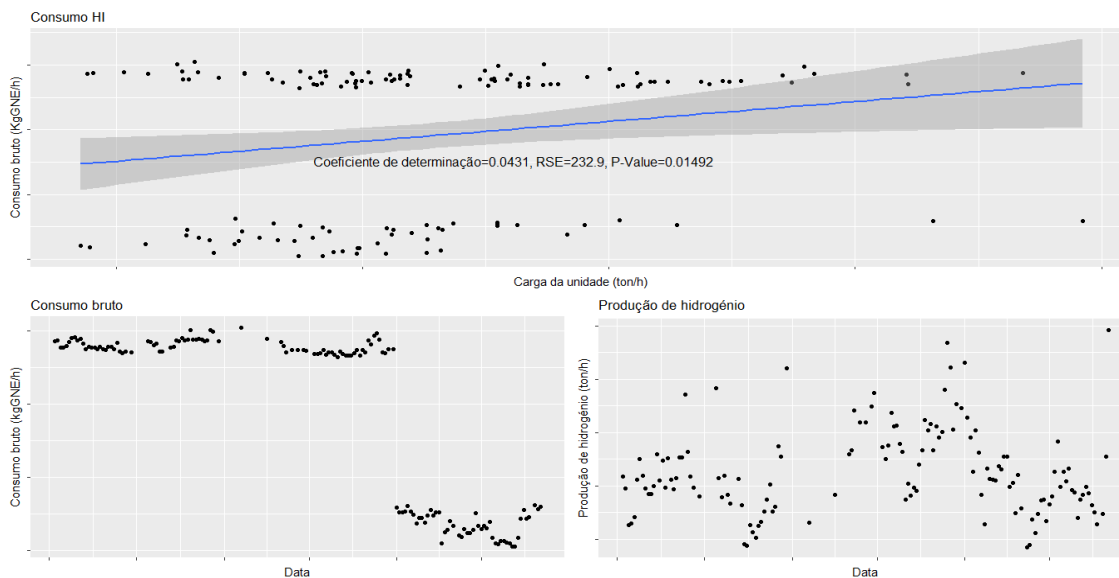


Figura D.8.10-Comportamento do consumo bruto e da quantidade produzida de hidrogénio na unidade.

À semelhança do consumo de combustível, verifica-se uma variação considerável do consumo em novembro de 2016, sendo que os modelos produzidos com dados posteriores e anteriores a novembro de 2016 são significativamente diferentes entre si.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

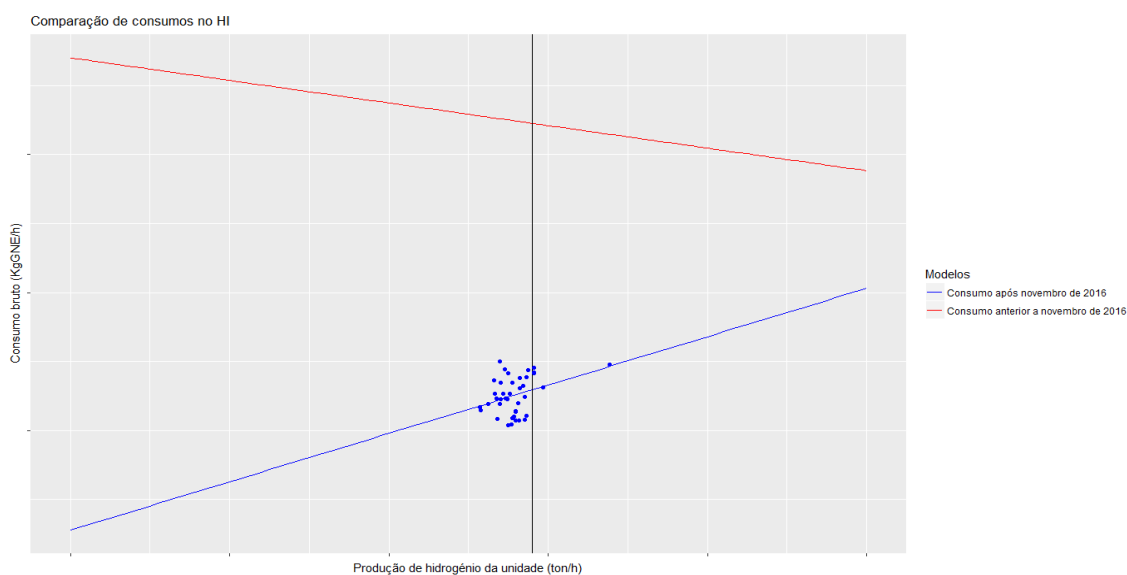


Figura D.8.11-Comportamento do consumo bruto e da quantidade produzida de hidrogénio na unidade.

Devido à elevada aglomeração e variabilidade dos consumos na unidade, os modelos lineares obtidos apresentam dois comportamentos opostos, sendo que aquele que utiliza dados mais próximos da actualidade indica um aumento do consumo bruto como consequência do aumento da produção de hidrogénio.

Anexo D.9-Alquilação

Consumo de vapor/Consumo de vapor 24 barg/Consumo de vapor 3.5 barg

Para os consumos de vapor, excecionalmente, é utilizado o mesmo raciocínio que na análise da eletricidade devido à utilização de balanços mensais.

São representados os comportamentos dos diversos consumos de vapor e da quantidade de alugado para armazenagem, sendo esta o predictor base dos modelos estabelecidos para a alquilação, através das figuras seguintes.

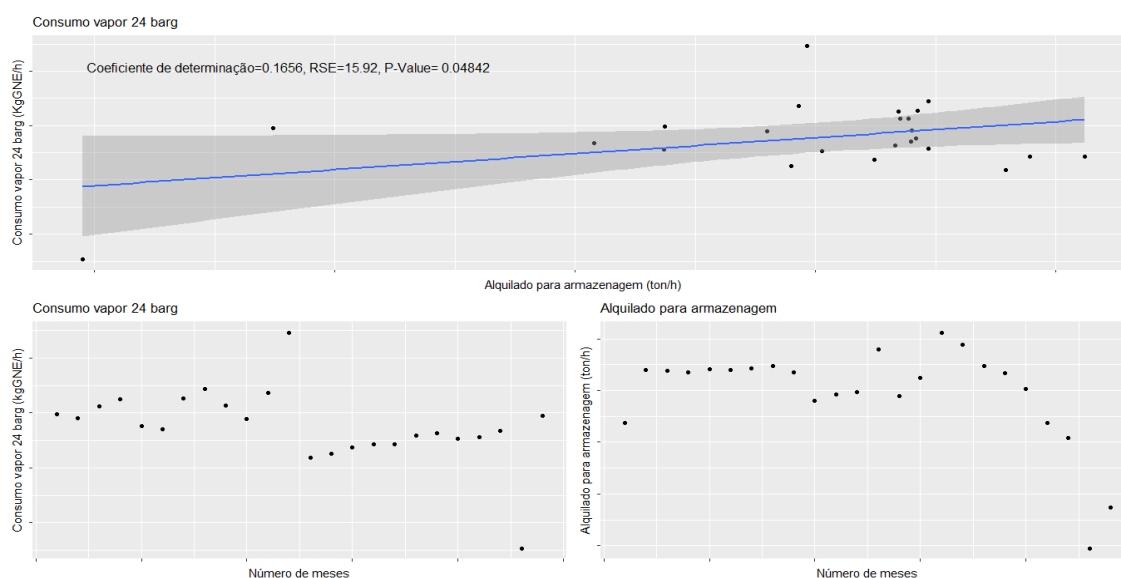


Figura D.9.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de alugado para armazenagem.

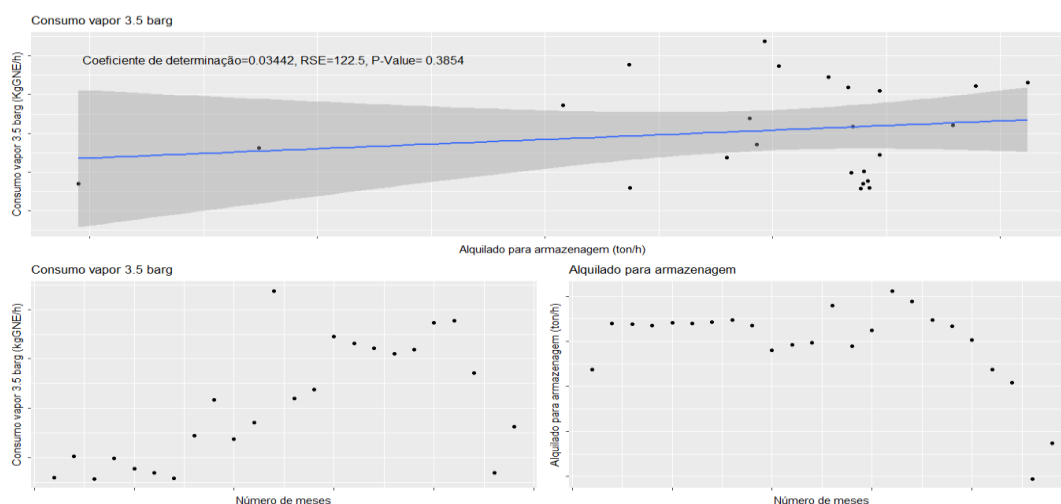


Figura D.9.2-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de alugado para armazenagem.

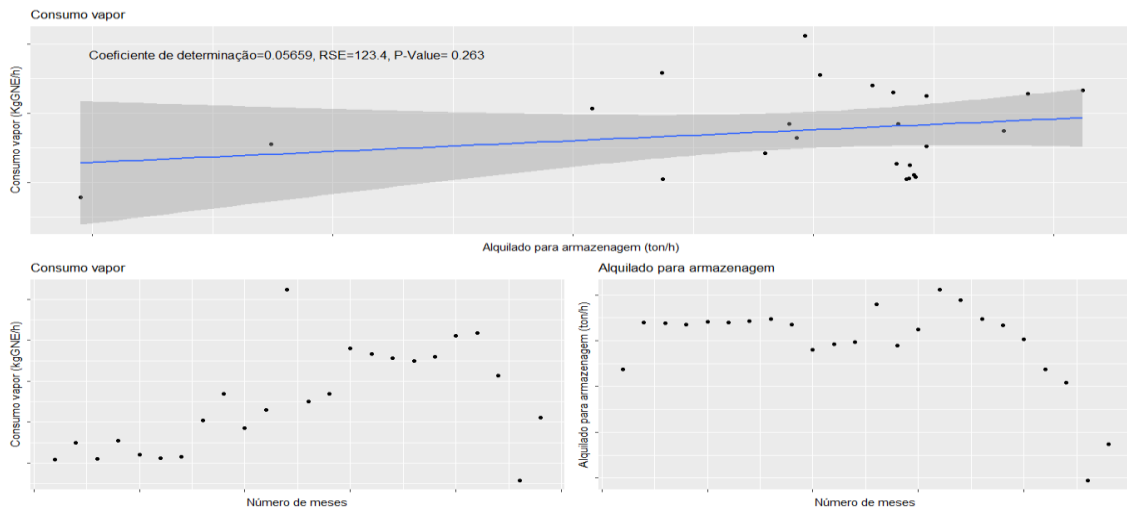


Figura D.9.3-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de alquilo para armazenagem.

Conclui-se que o consumo de vapor é independente da quantidade de alquilado para armazenagem, sendo que o maior consumo de vapor da unidade, consumo de vapor 3.5 barg, também demonstra essa independência. Contrariamente aos restantes consumos de vapor, o consumo de vapor 24 barg aumenta com o aumento da quantidade de alquilado para armazenagem.

Consumo de fuel gás

O fuel gás é consumido no forno. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é semelhante ao utilizado na análise anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de alquilado para armazenagem.

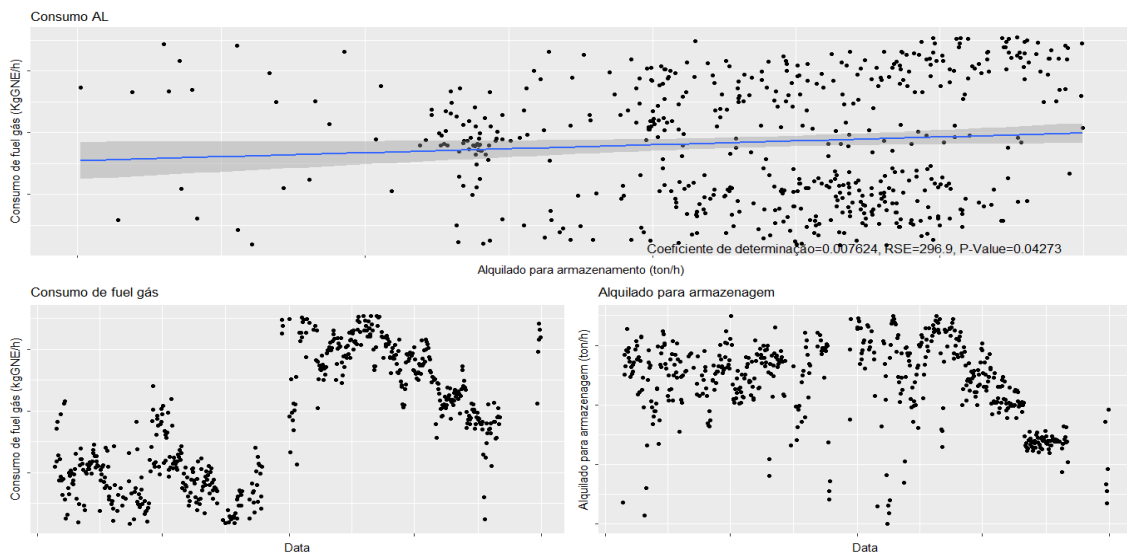


Figura D.9.4-Comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de alquilado para armazenagem.

Através da análise da figura D.9.4, verifica-se um aumento considerável de fuel gás de 2015 para 2016, sendo que este não foi causado por qualquer variável explicativa. A partir dos dados de 2015 e 2016 produziram-se dois modelos significativamente diferentes.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

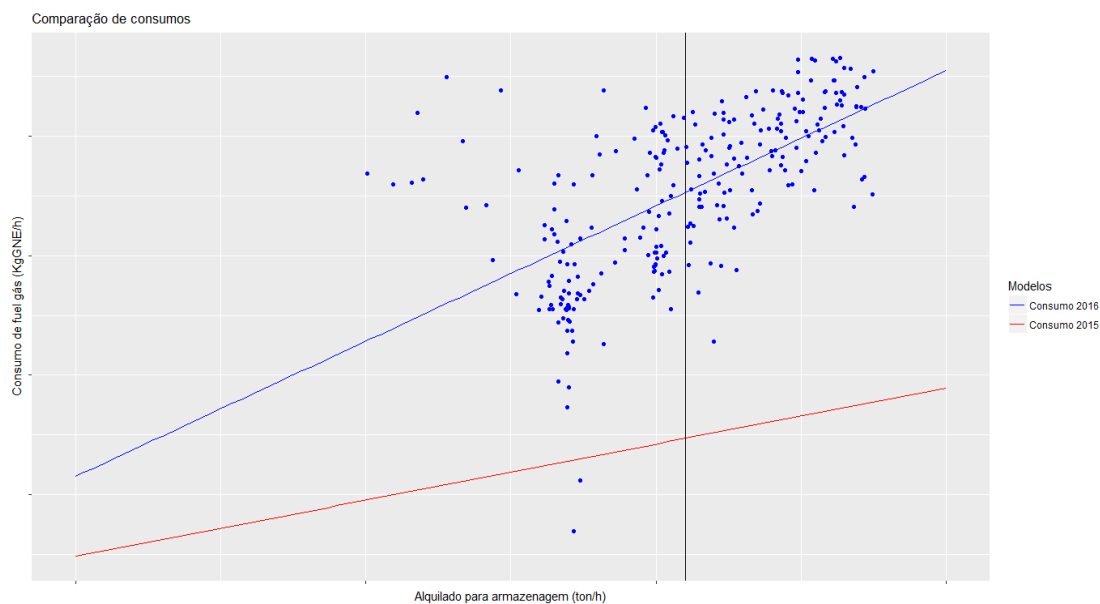


Figura D.9.5-Comparação entre modelos lineares.

Através da análise dos dados e dos modelos lineares, conclui-se que o consumo de fuel gás depende unicamente do alquilado para armazenagem de forma significativa, sendo que este aumenta com o aumento da quantidade de alquilado para armazenagem.

Consumo de ASO

O ASO é consumido no forno. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado na análise anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de ASO e da quantidade de alquilado para armazenagem.

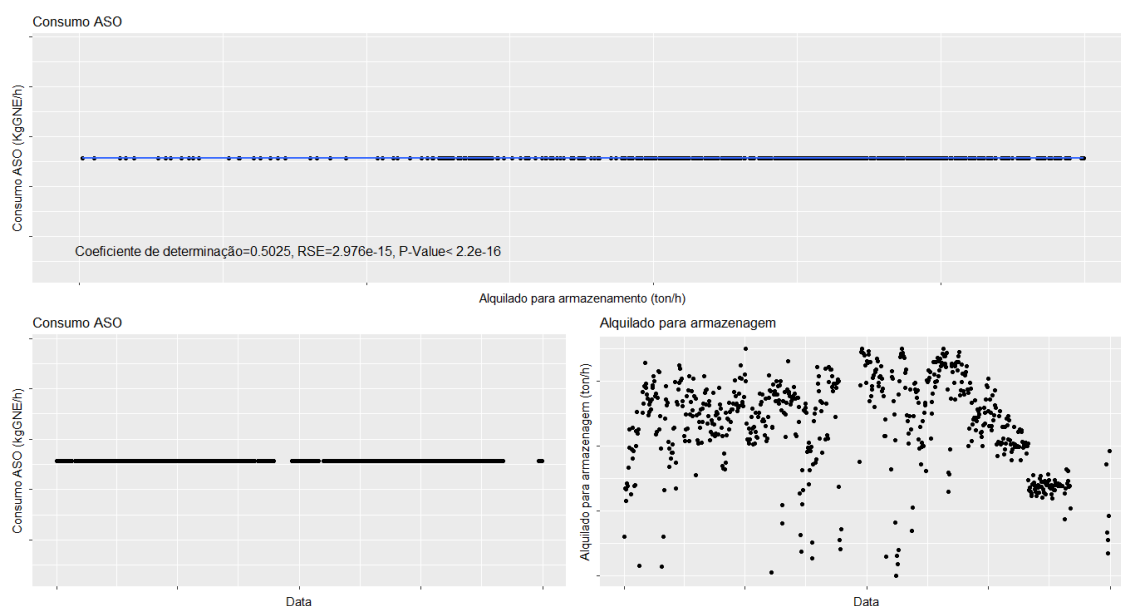


Figura D.9.6-Comportamento do consumo de ASO e da quantidade armazenada de alquilado.

Através da análise da figura D.9.6, conclui-se que o ASO é independente em relação a qualquer variável explicativa.

Consumo de combustível

Seguindo o mesmo raciocínio que nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.9.7, o comportamento do combustível e da quantidade de alquilado para armazenagem.

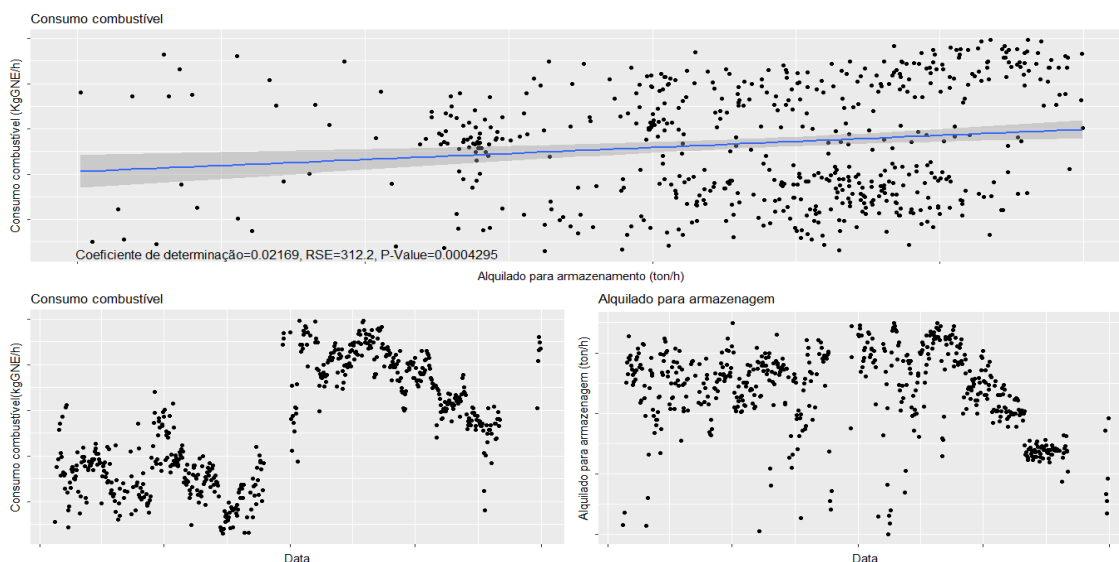


Figura D.9.7-Comportamento do consumo de combustível e da quantidade de alquilado para armazenagem.

Sendo a quantidade consumida de ASO pouco significativa quando comparada com o consumo de fuel gás, observa-se que o consumo de combustível, tem um comportamento semelhante ao de fuel gás. À semelhança do consumo de fuel gás, foram produzidos dois modelos significativamente diferentes a partir de dados de 2015 e 2016.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

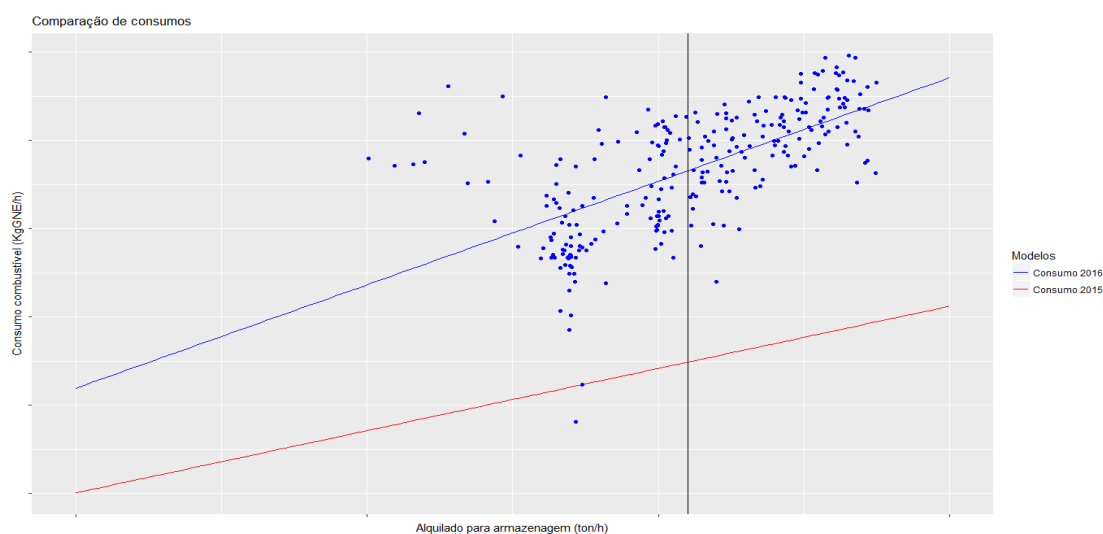


Figura D.9.8-Comparação de modelos lineares.

Através da figura D.9.8, conclui-se que, à semelhança do consumo de fuel gás, o consumo de combustível aumenta com o aumento da quantidade de alquilado para armazenagem.

Consumo de eletricidade

Através do raciocínio utilizado nos consumos de vapor, analisou-se o comportamento do consumo médio de eletricidade e da quantidade média de alquilado para armazenagem. São representados estes comportamentos através da figura seguinte.

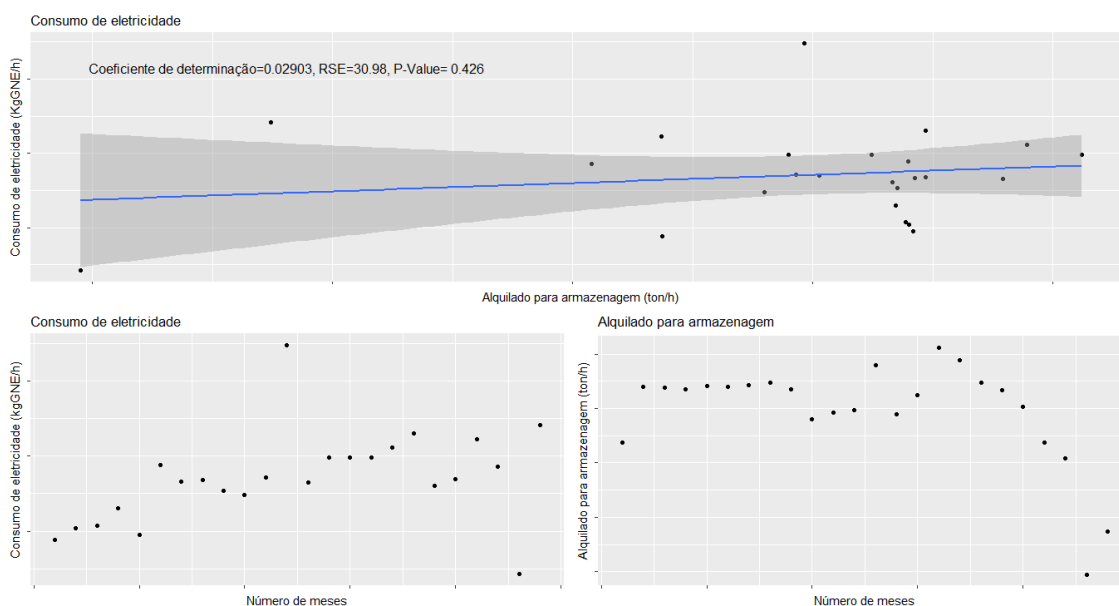


Figura D.9.9-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de alquilado para armazenagem.

Através da análise da figura D.9.9, verifica-se que o consumo de eletricidade é independente da quantidade de alquilado para armazenagem.

Anexo D.10-Desisobutanizadora

Consumo de vapor 3.5 barg

O vapor 3.5 barg é consumido nos permutadores. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado no HD.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

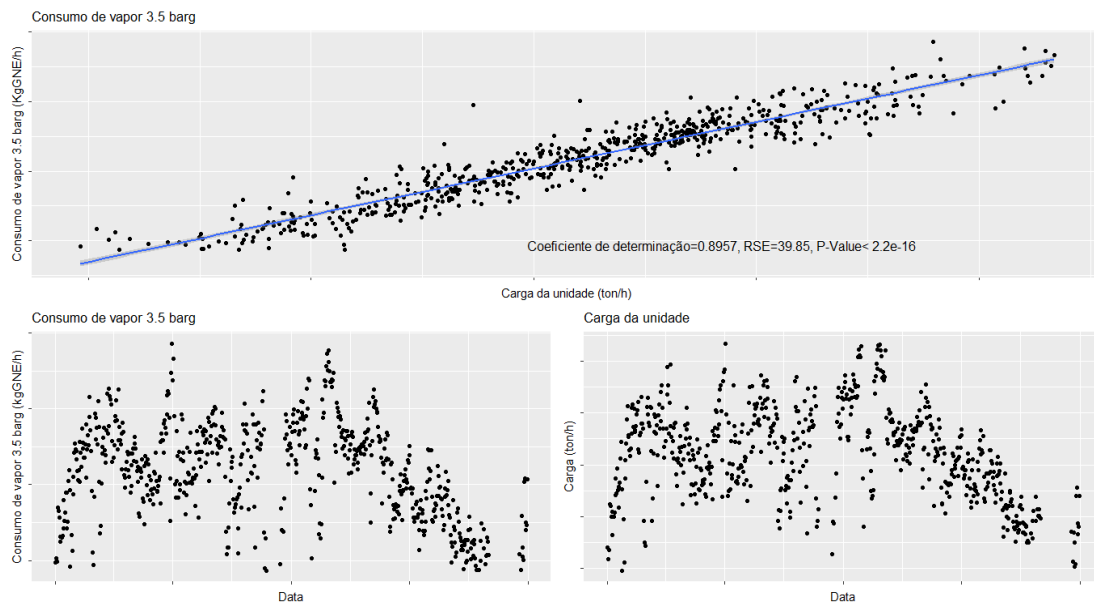


Figura D.10.1-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.10.1, conclui-se que o consumo de vapor 3.5 barg apresenta uma dependência da quantidade de carga da unidade, sendo o coeficiente de determinação do modelo linear aproximadamente 0.9. Verifica-se que, quando aumenta a carga da unidade aumenta consequentemente o consumo de vapor 3.5 barg.

Consumo de eletricidade

Através do raciocínio utilizado nas unidades anteriores, analisou-se o comportamento do consumo médio de eletricidade e da quantidade média de carga da unidade. São representados estes comportamentos através da figura seguinte.

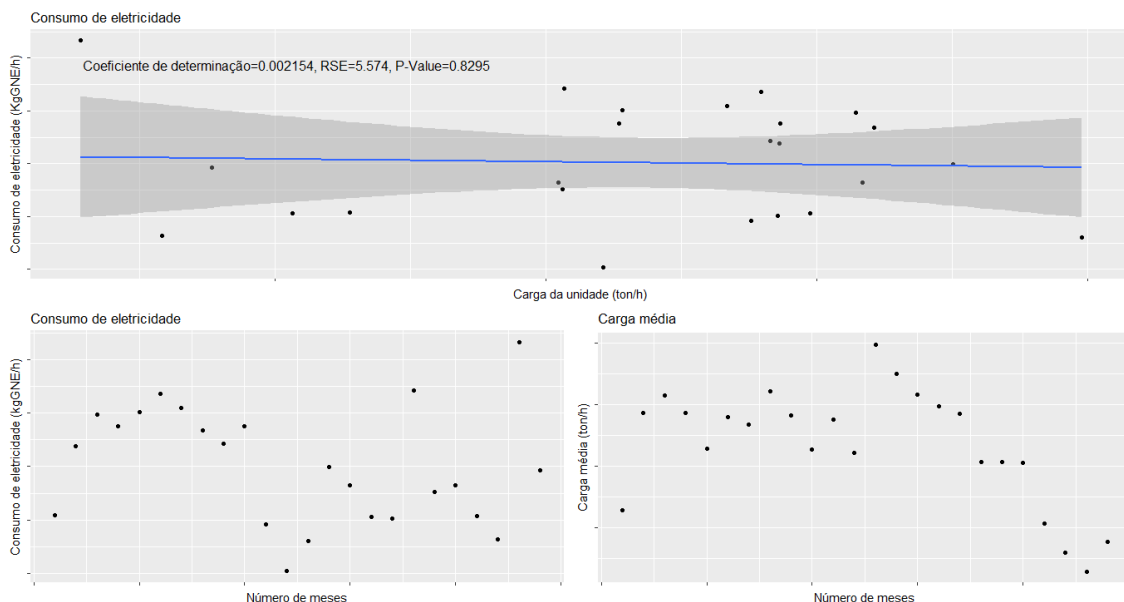


Figura D.10.2-Comportamento de consumo de eletricidade e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.10.2, verifica-se que o consumo de eletricidade é independente da quantidade de carga da unidade.

Anexo D.11-FCC

Consumo de vapor 24 barg

O vapor 24 barg é consumido em permutadores, sendo este o maior consumo de vapor na unidade. Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

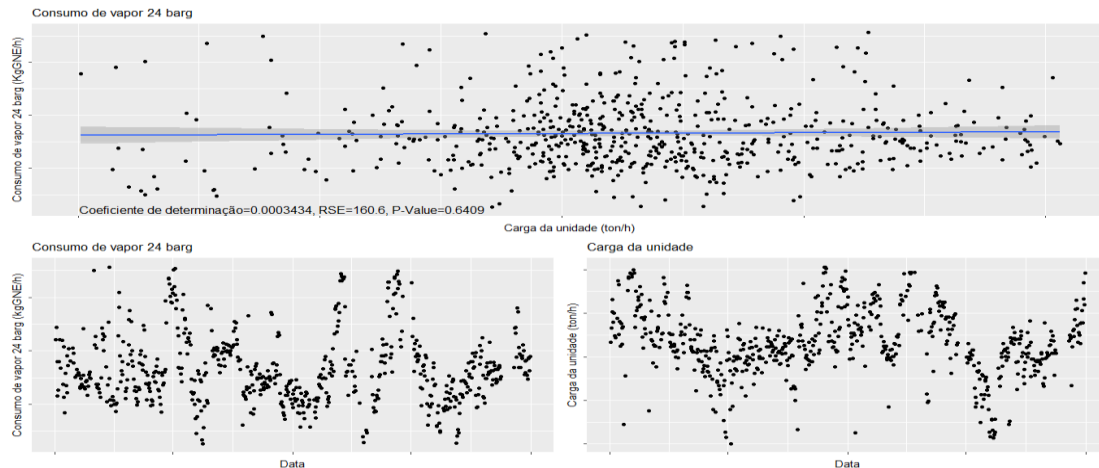


Figura D.11.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

Após uma análise detalhada dos dados, observa-se uma relação significativa entre a carga da unidade e a temperatura ambiente, sendo que quando a temperatura aumenta a carga consequentemente diminui, porém a relação entre o consumo de vapor 24 barg e a carga da unidade apresenta uma variação elevada de valores, sendo que esta não se encontra associada a qualquer variável explicativa. De modo a diminuir a variação dos consumos para quantidades de carga semelhantes são produzidos dois modelos significativamente diferentes, a partir dos dados anteriores e posteriores a julho de 2016.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.



Figura D.11.2-Comparação de modelos lineares.

Através da separação dos dados de estudo, são produzidos dois modelos significativamente diferentes com comportamentos opostos. À semelhança das anteriores unidades, o comportamento do consumo de vapor 24 barg é determinado exclusivamente pelo modelo mais próximo da actualidade, neste caso, o modelo após julho de 2016, este indica que o consumo de vapor 24 barg aumenta com o aumento da carga da unidade. Em suma, qualquer utilidade que esteja relacionada com a quantidade de carga da unidade, está directamente relacionada com a temperatura ambiente.

Produção de vapor 24 barg

O vapor 24 barg é produzido nos permutadores, sendo este a maior produção da unidade. Através da figura seguinte é representado o comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

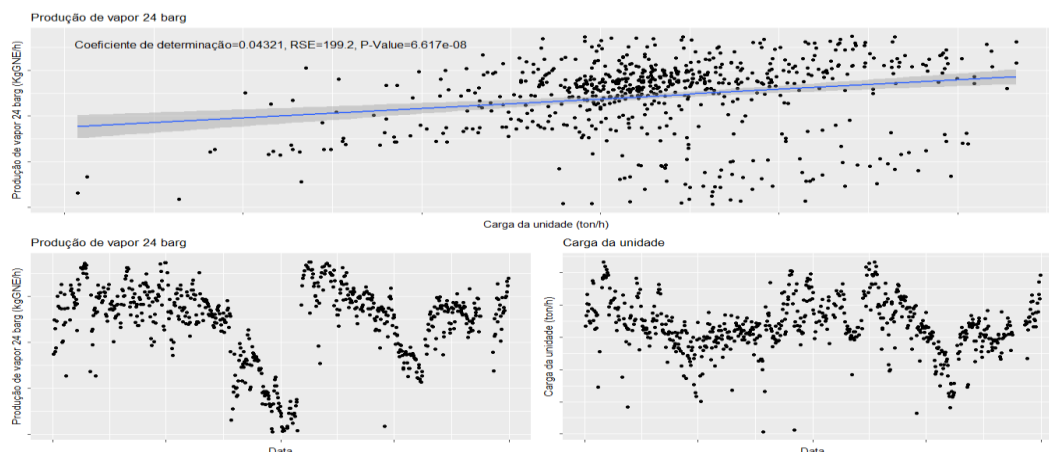


Figura D.11.3-Comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

A produção de vapor 24 barg relaciona-se de maneira significativa, com a quantidade de carga da unidade e consequentemente com a temperatura ambiente. Em fevereiro de 2016, ocorreu um aumento considerável da produção de vapor 24 barg, provavelmente relacionado com a limpeza mecânica dos geradores de vapor. Deste modo, foram produzidas duas rectas significativamente distintas utilizando os dados de 2015 e posteriores a abril de 2016, a figura seguinte representa os modelos obtidos.



Figura D.11.4-Comparação entre modelos lineares.

À semelhança do consumo de vapor 24 barg, são produzidos dois modelos significativamente diferentes, com comportamentos diferentes, através da separação dos dados de estudo, sendo o comportamento da produção de vapor 24 barg determinado pelo modelo mais próximo da actualidade, sendo que este indica que a produção de vapor 24 barg aumenta com o aumento da carga da unidade.

Consumo de vapor 10.5 barg

O vapor 10.5 barg é consumido maioritariamente no reactor. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado na unidade de reformer catalítico.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

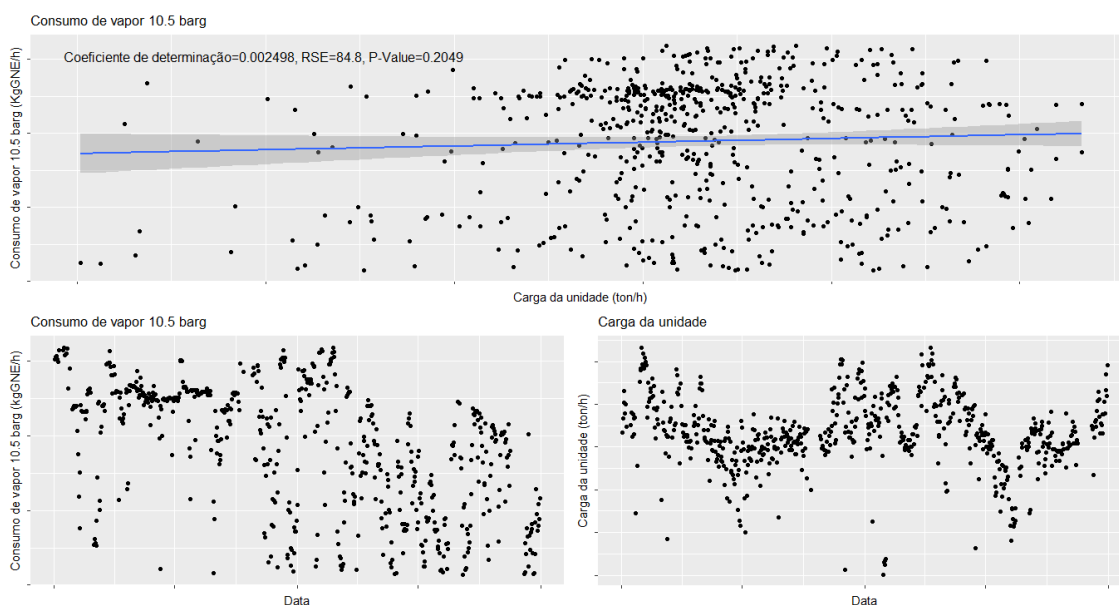


Figura D.11.5-Comportamento do consumo de vapor 10.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

Dado a enorme variação de consumos para valores semelhantes de carga, não é possível identificar variáveis explicativas que levem à identificação da origem desta variação, sendo assim concluído que o consumo de vapor 10.5 barg é independente da quantidade de carga da unidade.

Consumo de vapor 3.5 barg

O vapor 3.5 barg é consumido na coluna de fraccionamento. Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

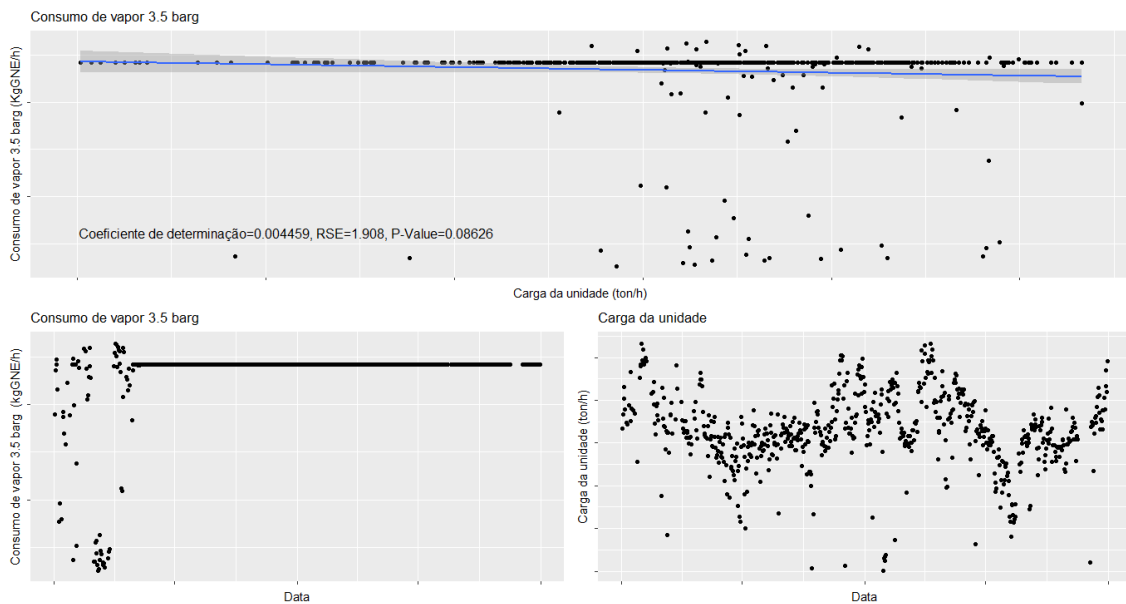


Figura D.11.6-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

O consumo de vapor 3.5 barg passou de um estado de variação para estagnação a partir de maio de 2015, sendo assim concluído que o consumo de vapor 3.5 barg é independente das variáveis explicativas.

Produção de vapor 3.5 barg

O vapor 3.5 barg é produzido maioritariamente nas turbinas e no decantador. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é semelhante ao utilizado no HG.

Através da figura seguinte é representado o comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

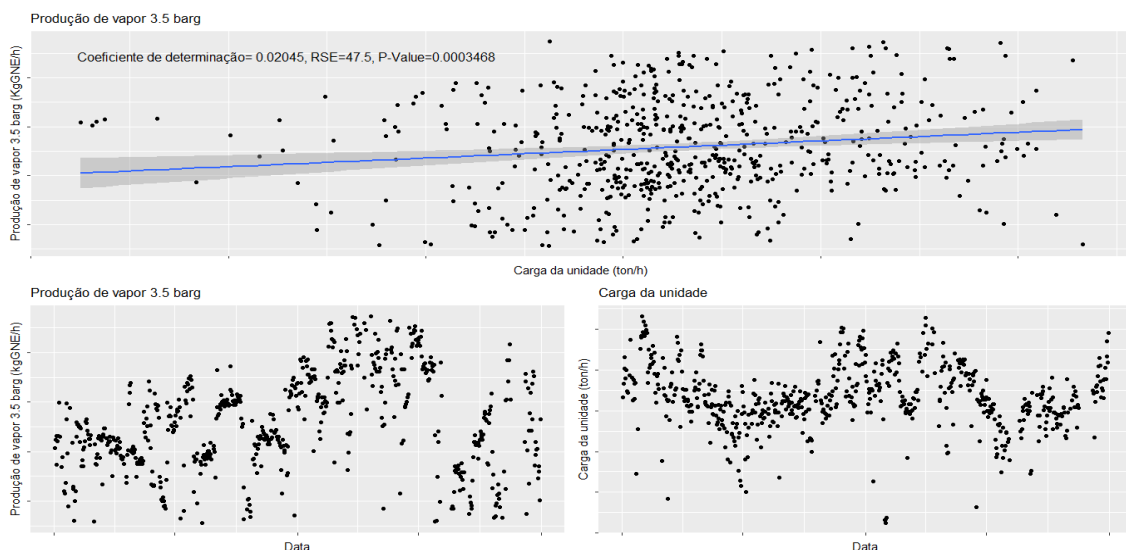


Figura D.11.7-Comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.11.7, observa-se uma variação considerável quanto à produção de vapor 3.5 barg em agosto de 2016, porém não foi possível a produção de dois modelos significativamente diferentes utilizando os dados posteriores e anteriores a esse período

de tempo. Conclui-se assim, que apesar da variabilidade elevada das produções de vapor 3.5 barg esta aumenta com o aumento da quantidade de carga da unidade.

Consumo de vapor

Seguindo o raciocínio idêntico, às análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.11.8, o comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade.

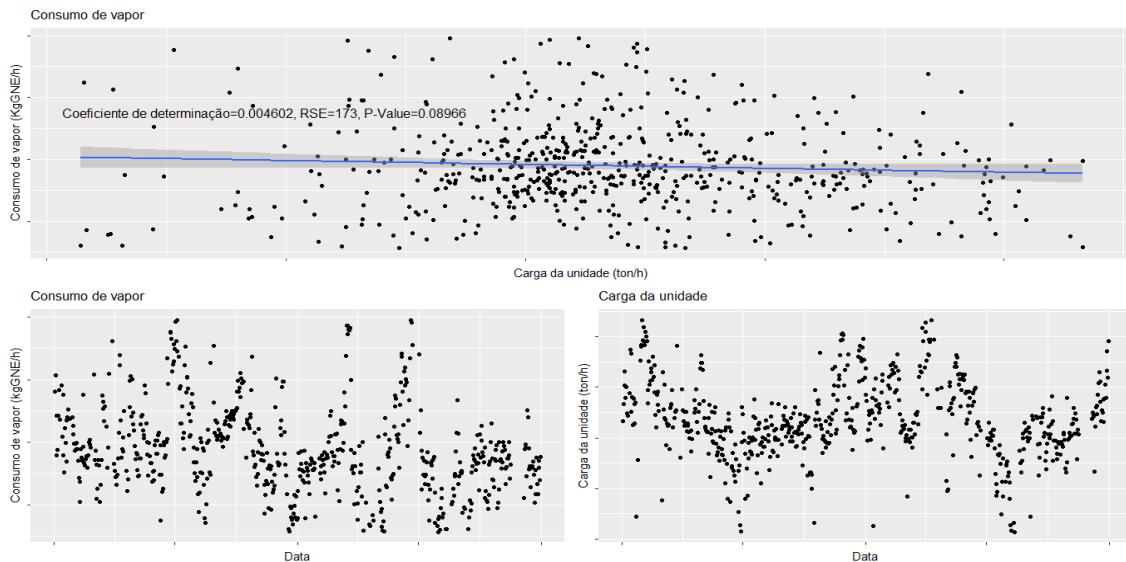


Figura D.11.8-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade.

À semelhança do consumo de vapor 24 barg, o consumo de vapor apresenta uma elevada variabilidade para quantidades semelhantes de carga, de modo a diminuir esta variabilidade foram produzidos dois modelos significativamente distintos, utilizando dados anteriores a abril de 2016 e posteriores a julho de 2016.

A figura seguinte apresenta todos os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

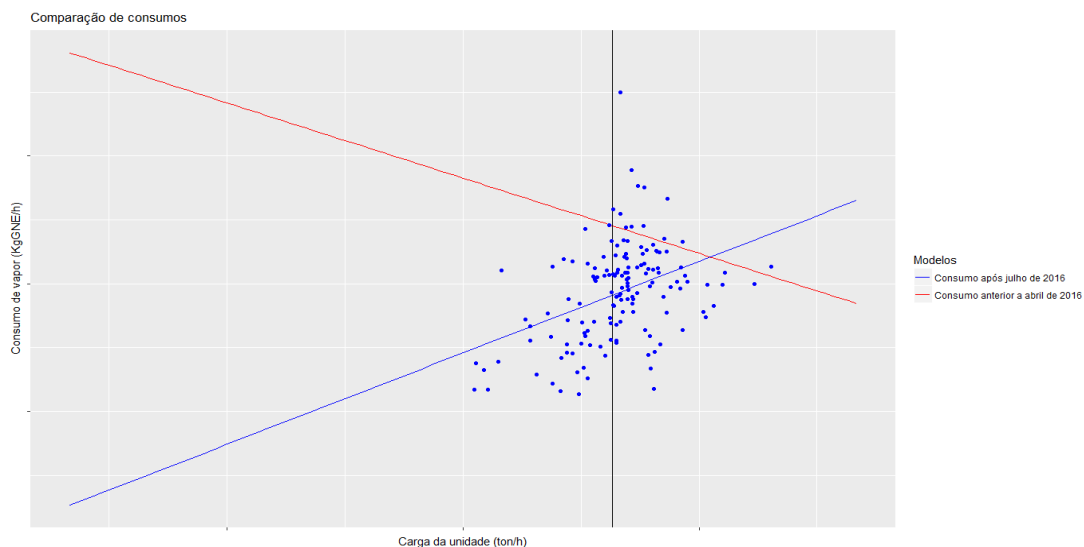


Figura D.11.9-Comparação entre modelos lineares.

À semelhança do consumo de vapor 24 barg, são produzidos dois modelos significativamente diferentes com comportamentos opostos. A partir do modelo mais próximo da actualidade conclui-se que o consumo de vapor aumenta com o aumento da carga da unidade.

Produção de vapor

Seguindo o mesmo raciocínio que nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.11.10, o comportamento da produção de vapor e da quantidade de carga da unidade.

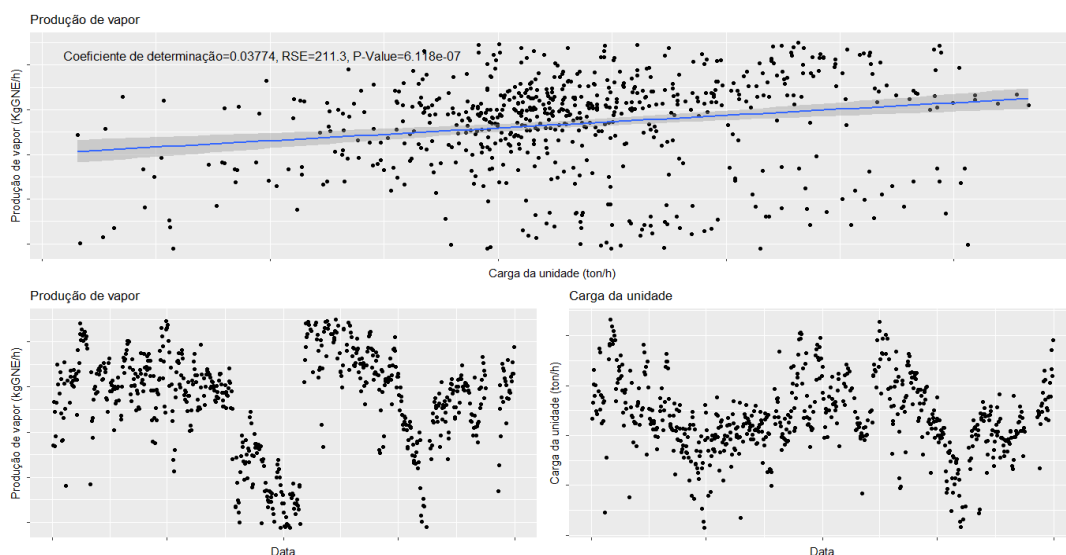


Figura D.11.10-Comportamento da produção de vapor e da quantidade de carga da unidade.

O comportamento da produção de vapor é semelhante ao comportamento da produção de vapor 24 barg devido à maior quantidade produzida desta utilidade, em comparação com o vapor 3.5 barg. Verifica-se à semelhança do vapor 24 barg, uma variação considerável em maio de 2016, sendo então produzidos dois modelos significativamente distintos entre si utilizando os dados de 2015 e os dados posteriores a abril de 2016. Estes modelos são representados através da figura D.11.11.



Figura D.11.11-Comparação entre modelos lineares.

Concluiu-se, através da análise da figura D.11.11, que de modo semelhante ao consumo de vapor 24 barg, o consumo de vapor aumenta com o aumento da quantidade de carga da unidade.

Produção/Consumo de eletricidade

Através do raciocínio utilizado nas unidades anteriores, analisou-se o comportamento da eletricidade e da quantidade média de carga da unidade. São representados estes comportamentos através das figuras seguintes.

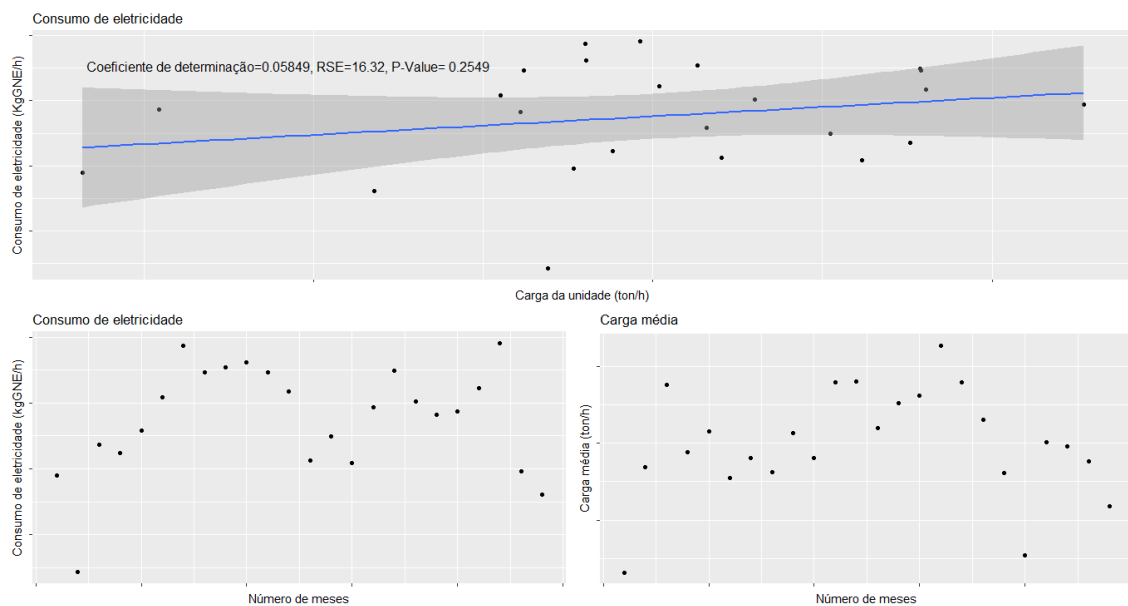


Figura D.11.12-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de carga da unidade.

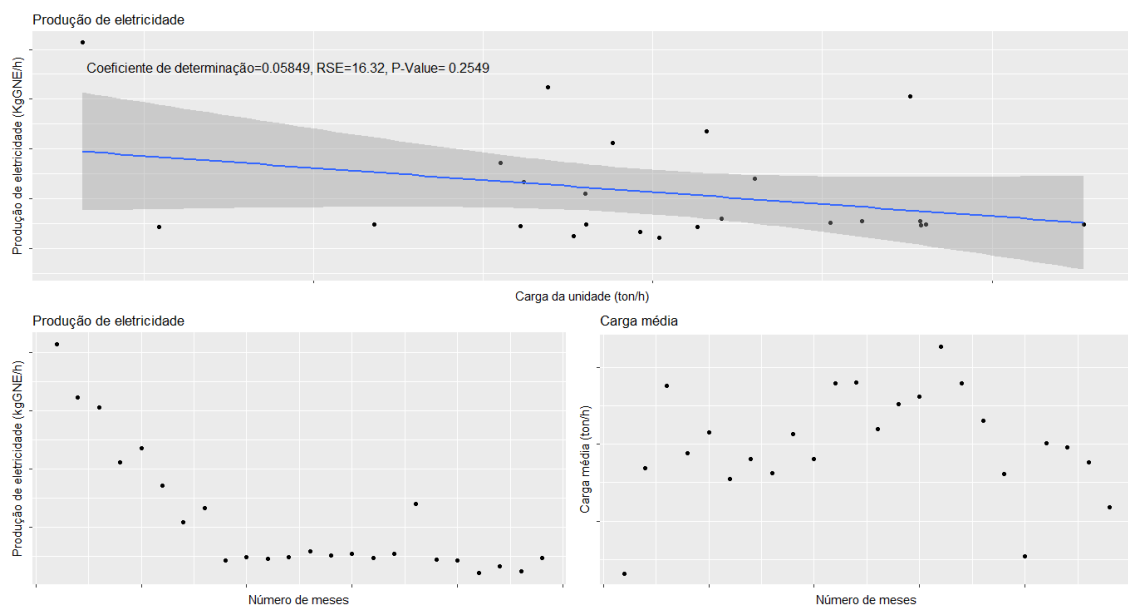


Figura D.11.13-Comportamento da produção de eletricidade e da quantidade de carga da unidade.

Conclui-se que, quer o consumo quer a produção de eletricidade, são independentes em relação à quantidade de carga da unidade.

Produção da unidade

De maneira semelhante ao consumo de vapor, foram associados os diferentes tipos de produção. Seguindo o raciocínio das análises anteriores é representado graficamente, através da figura D.11.14, o comportamento da produção da unidade e da quantidade de carga da unidade.

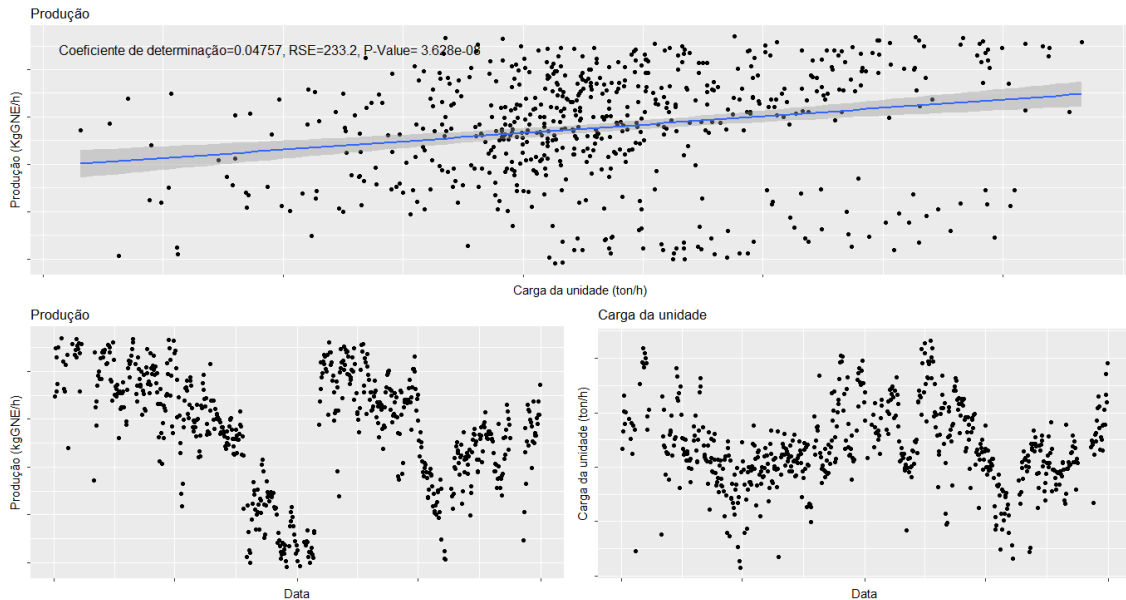


Figura D.11.14-Comportamento da produção e da quantidade de carga da unidade.

À semelhança da produção de vapor foram formados dois modelos significativamente diferentes com dados de 2015 e dados posteriores a abril de 2016.

A figura seguinte representa os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

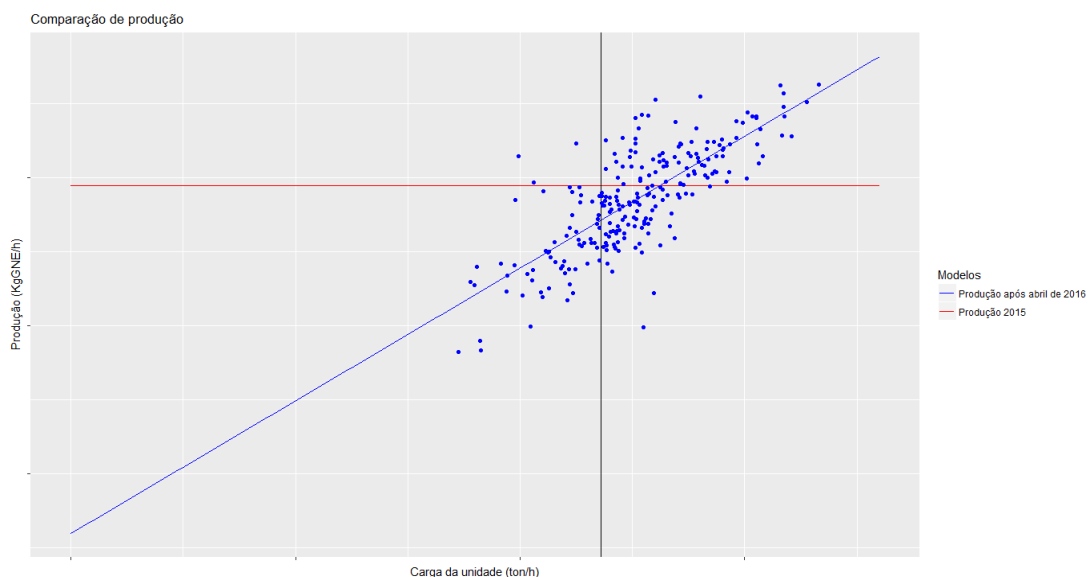


Figura D.11.15-Comparação entre modelos lineares.

Conclui-se que a produção da unidade aumenta com o aumento da quantidade de carga da unidade.

Consumo de fuel gás

Apesar de em certos momentos existir consumo de fuel gás no forno, estes são considerados como *outliers*, desta forma o mais correcto é referir que o consumo de fuel gás na unidade é nulo.

Consumo de coque/Consumo de combustível

O coque é consumido no forno, sendo o consumo de fuel gás nulo, à exceção de momentos bastante reduzidos, é razoável afirmar que o consumo de combustível é igual ao consumo de coque na unidade.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de coque e da quantidade de carga da unidade.

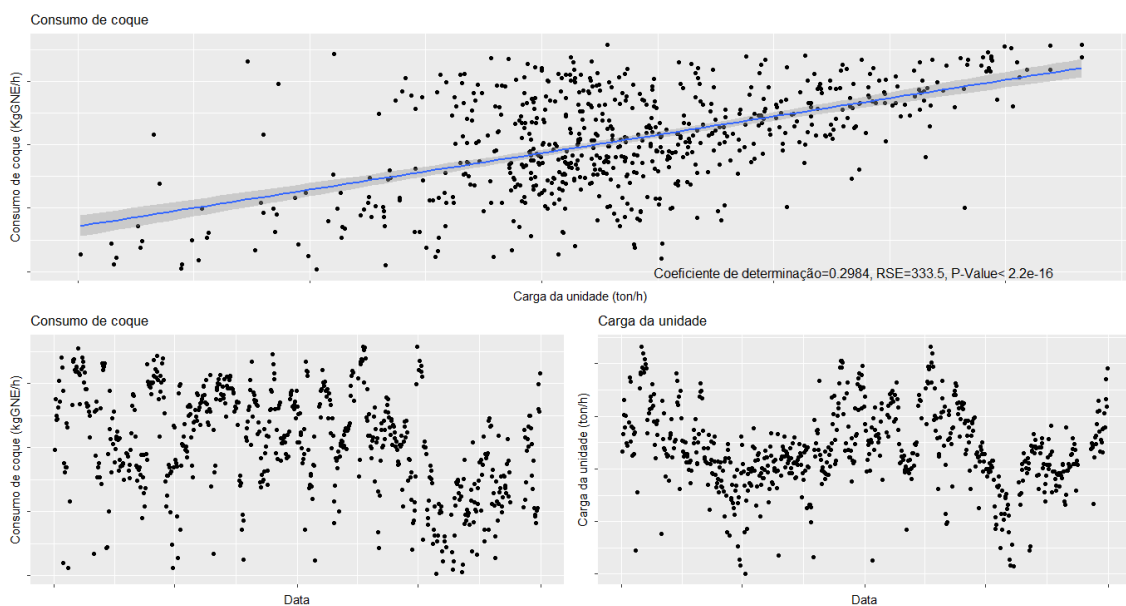


Figura D.11.16-Comportamento do consumo de coque e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.11.16, verifica-se uma relação significativa entre o consumo de coque e a quantidade de carga da unidade, sendo que quando esta aumenta consequentemente o consumo de coque aumenta, porém de modo a minimizar a variabilidade dos valores de consumo para quantidades de carga semelhantes foram obtidos dois modelos significativamente diferentes a partir dos dados anteriores e posteriores a julho de 2016.

A figura seguinte representa os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

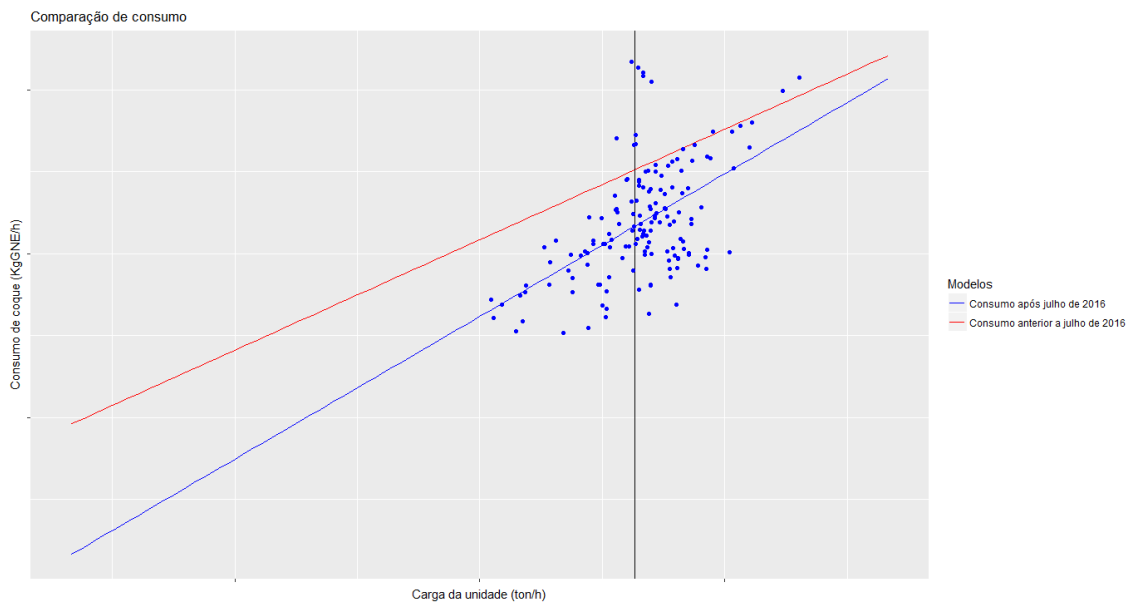


Figura D.11.17-Comparação entre modelos lineares.

Através dos dois modelos obtidos, conclui-se que o consumo de coque aumenta com o aumento da quantidade de carga da unidade.

Consumo bruto

Através do raciocínio utilizado na análise aos consumos da unidade, é representado graficamente, através da figura D.11.18, o comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade.

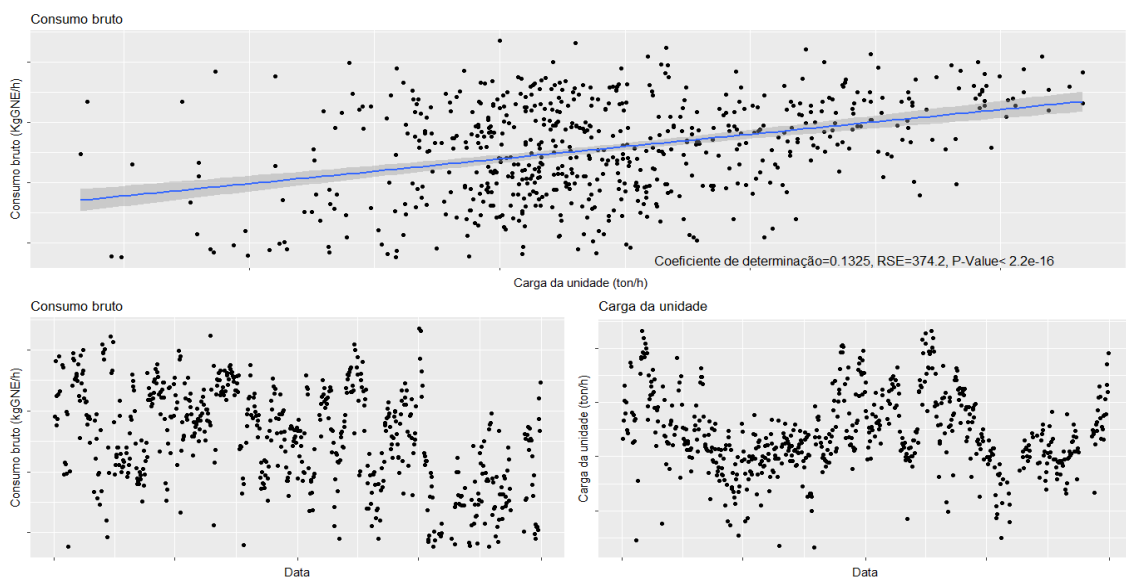


Figura D.11.18-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.11.18, verifica-se que o comportamento do consumo bruto da unidade processual é semelhante ao comportamento do consumo de coque da mesma, isto deve-se ao facto, do coque constituir uma maior parcela no cálculo do consumo bruto. De modo semelhante ao consumo de coque, formaram-se dois modelos significativamente diferentes através dos dados posteriores e dos dados anteriores a julho de 2016.

A figura seguinte representa os modelos lineares produzidos neste subcapítulo, após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

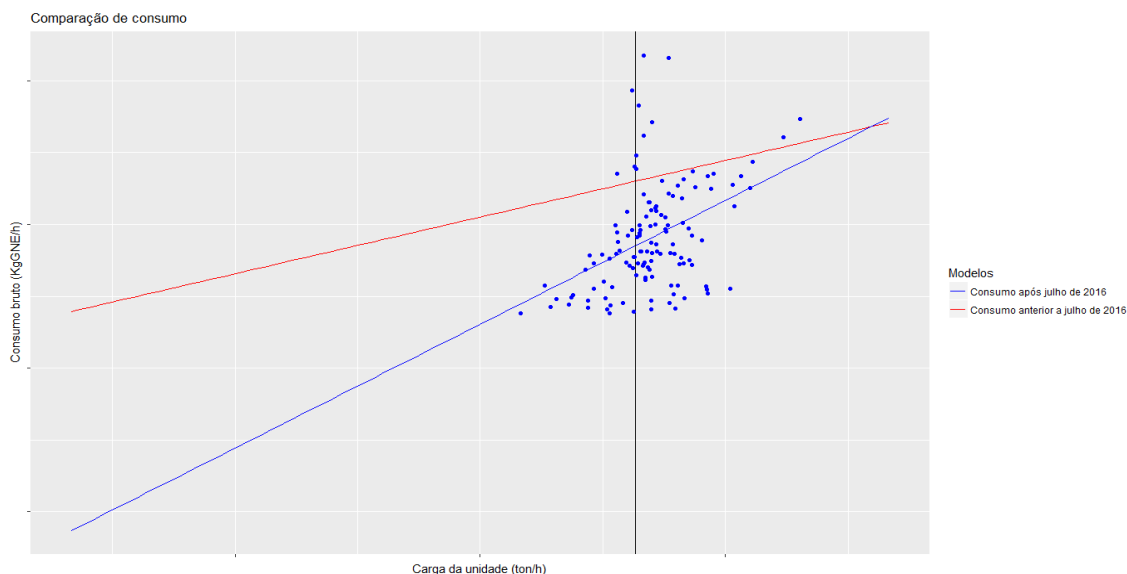


Figura D.11.19-Comparação entre modelos lineares.

Através da análise da figura D.11.19, verifica-se uma grande dispersão de consumos na carga nominal média, porém verifica-se um aumento significativo do consumo da unidade quando a quantidade de carga da mesma aumenta.

Anexo D.12-HT

Consumo de vapor 24 barg

O vapor 24 barg é consumido em permutadores, representando este o maior consumo de vapor na unidade. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado no FCC. Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

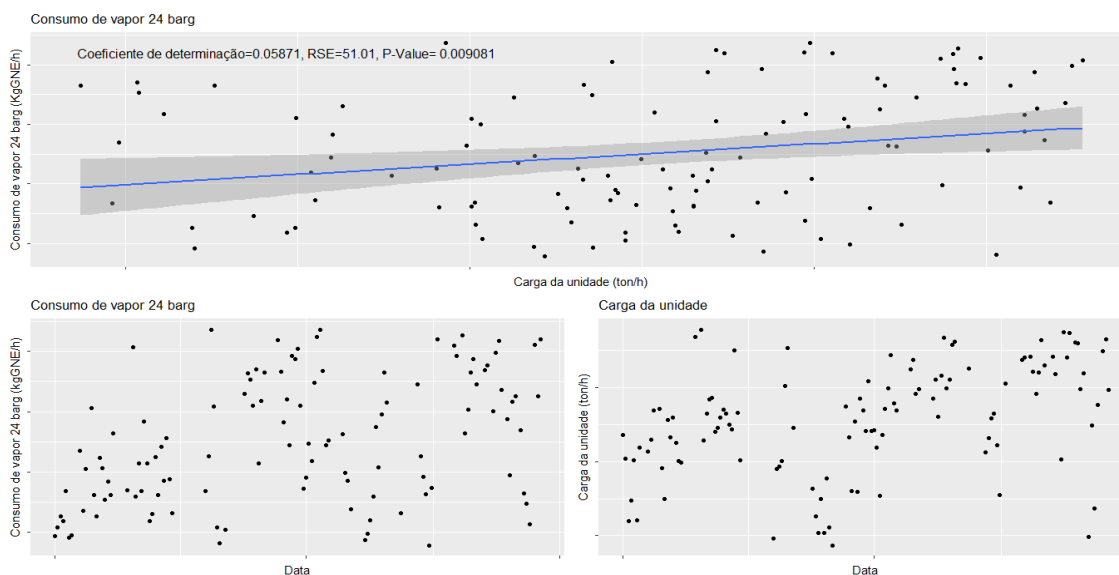


Figura D.12.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

Devido à variação elevada de valores do consumo de vapor 24 barg para cargas semelhantes, não é possível a formação de modelos significativamente diferentes. Assim, conclui-se que o consumo de vapor 24 barg apresenta uma relação significativa só com a quantidade de carga da unidade, sendo que quando esta aumenta o consumo de vapor 24 barg.

Consumo de vapor 3.5 barg

O vapor 3.5 barg é consumido em permutadores. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado no FCC.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

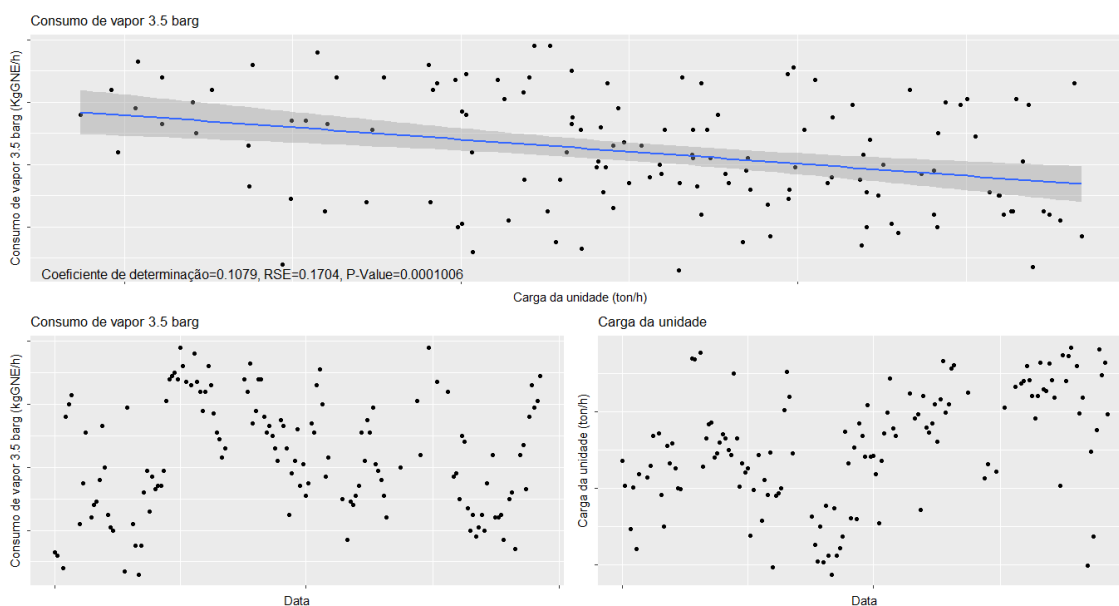


Figura D.12.2-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

De modo semelhante ao consumo de vapor 24 barg, observa-se uma variação elevada de valores do consumo de vapor 3.5 barg para quantidades de carga semelhantes, sendo que devido a esta não é possível produzir modelos significativamente diferentes. Conclui-se assim que o consumo de vapor 3.5 barg diminui com o aumento da quantidade de carga da unidade.

Produção de vapor/Produção de vapor 3.5 barg

O vapor 3.5 barg é produzido no balão HT-V103. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado no FCC.

Através da figura seguinte é representado o comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

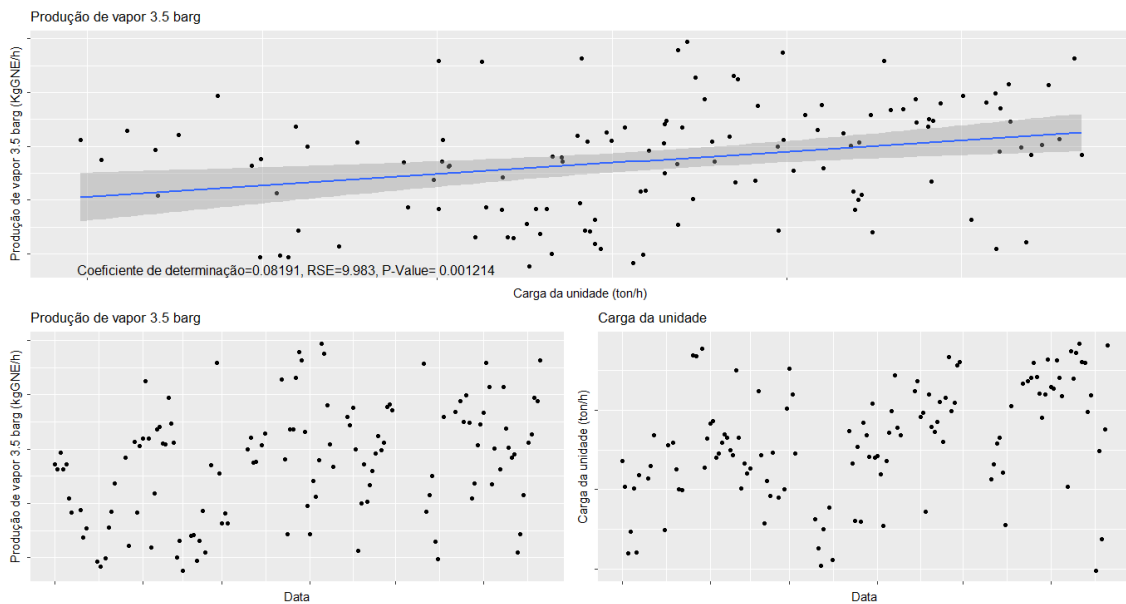


Figura D.12.3-Comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.12.3, conclui-se que apesar do modelo apresentar os mesmos problemas que os anteriores, a produção de vapor da unidade aumenta com o aumento da quantidade de carga da mesma.

Consumo de vapor

Seguindo o raciocínio das análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.12.4, o comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade.

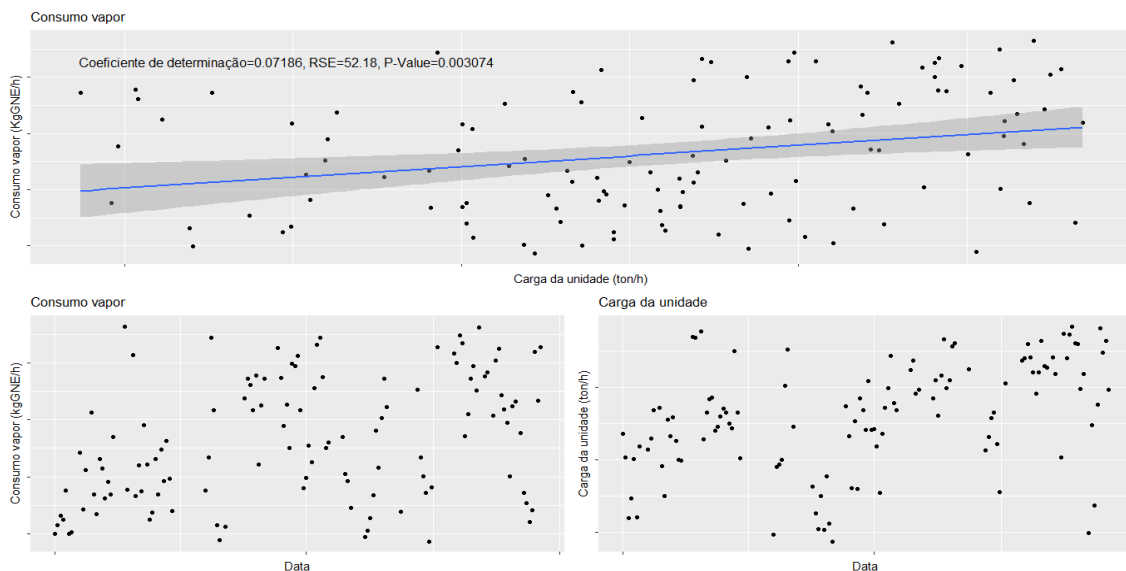


Figura D.12.4-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade.

O consumo de vapor apresenta o mesmo comportamento que o consumo de vapor 24 barg dado que a quantidade consumida de vapor 3.5 barg não é significativa quando comparada com a quantidade consumida de vapor 24 barg. Assim, a conclusão da análise é idêntica à do consumo de vapor 24 barg, ou seja, o consumo de vapor aumenta com o aumento da quantidade de carga da unidade.

Consumo de fuel gás

O fuel gás é consumido no forno. Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.12.5, o comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade.

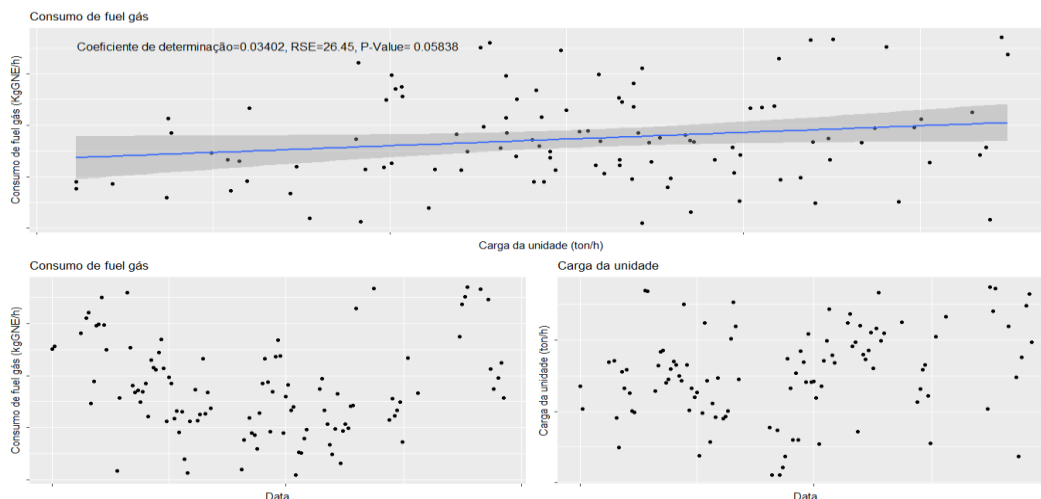


Figura D.12.5-Comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade.

Apesar do estudo detalhado dos dados, não foi possível a formação de modelos significativamente diferentes, pelo que se concluiu que apesar de se constatar variabilidade dos valores do consumo de fuel gás para quantidades de carga semelhantes, o consumo de fuel gás é independente de qualquer variável explicativa.

Consumo de eletricidade

Através do raciocínio utilizado nas unidades anteriores, analisou-se o comportamento do consumo médio de eletricidade e da quantidade média de carga da unidade. São representados estes comportamentos através da figura D.12.6.

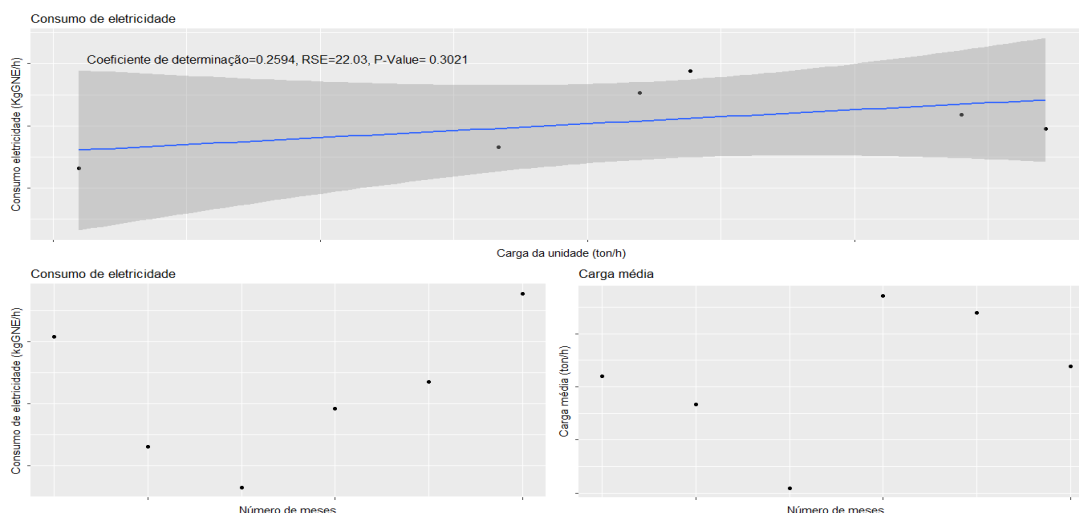


Figura D.12.6-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.12.6, verifica-se que o consumo de eletricidade é independente da quantidade de carga da unidade, o que se deve à quantidade mínima de pontos utilizados e às diferenças elevadas entre si.

Consumo bruto

Através do raciocínio utilizado na análise aos consumos da unidade, é representado graficamente, através da figura D.12.7, o comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade.

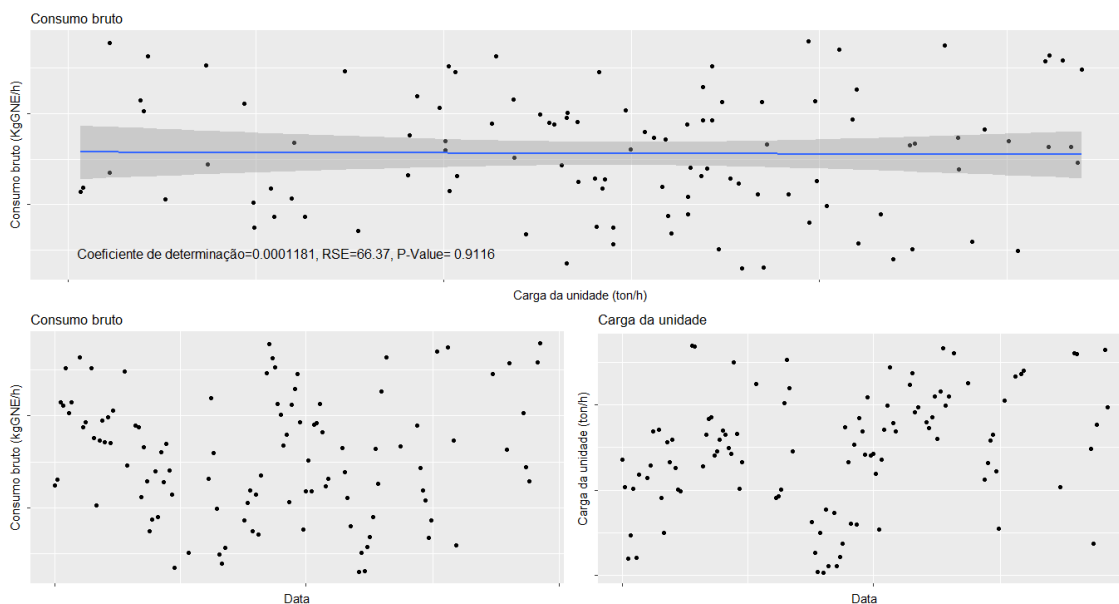


Figura D.12.7-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.12.7, verifica-se que a variabilidade elevada apresentada pelos consumos anteriormente analisados é mantida na análise do consumo bruto da unidade. Apesar do consumo de vapor ser dependente da quantidade de carga da unidade, o facto das restantes utilidades serem independentes, influencia o consumo bruto da unidade a ser independente da quantidade de carga da unidade.

Anexo D.13-HR

Produção de vapor 24 barg/Produção de vapor

O vapor 24 barg é produzido nos permutadores. O raciocínio utilizado na análise desta produção é idêntico ao utilizado no HI.

Através da figura seguinte é representado o comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de hidrogénio produzido na unidade.

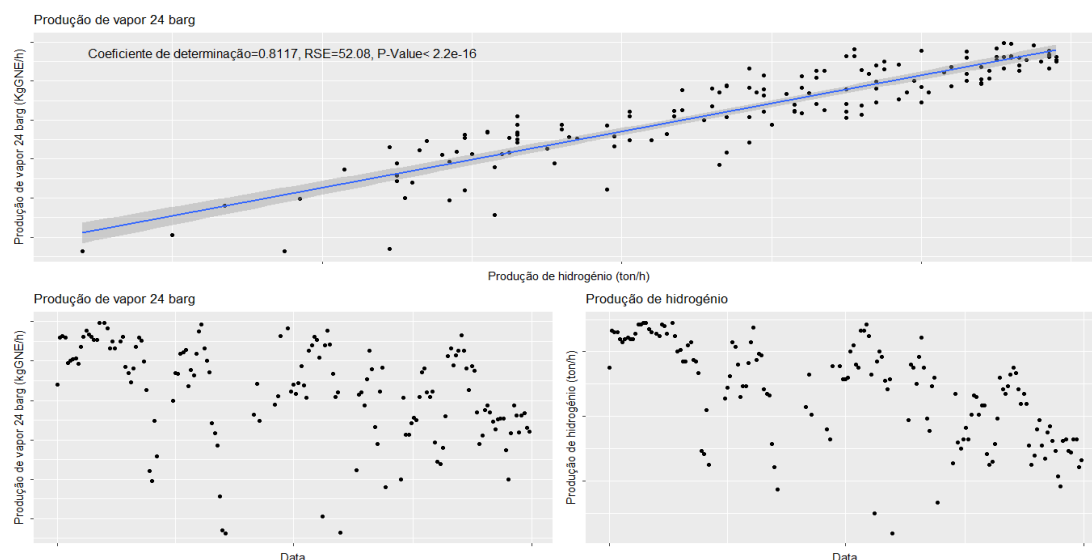


Figura D.13.1-Comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de hidrogénio produzido.

A produção de vapor na unidade só apresenta uma relação significativa com a quantidade de hidrogénio produzido, sendo que esta apresenta um erro mínimo associado. Concluindo a análise, verifica-se que a produção de vapor aumenta quando a produção de hidrogénio aumenta.

Consumo de vapor 3.5 barg/Consumo de vapor

O vapor 3.5 barg é consumido no desgasificador, desaerador e permutador HR-E8. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado no HI.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de hidrogénio produzido na unidade.

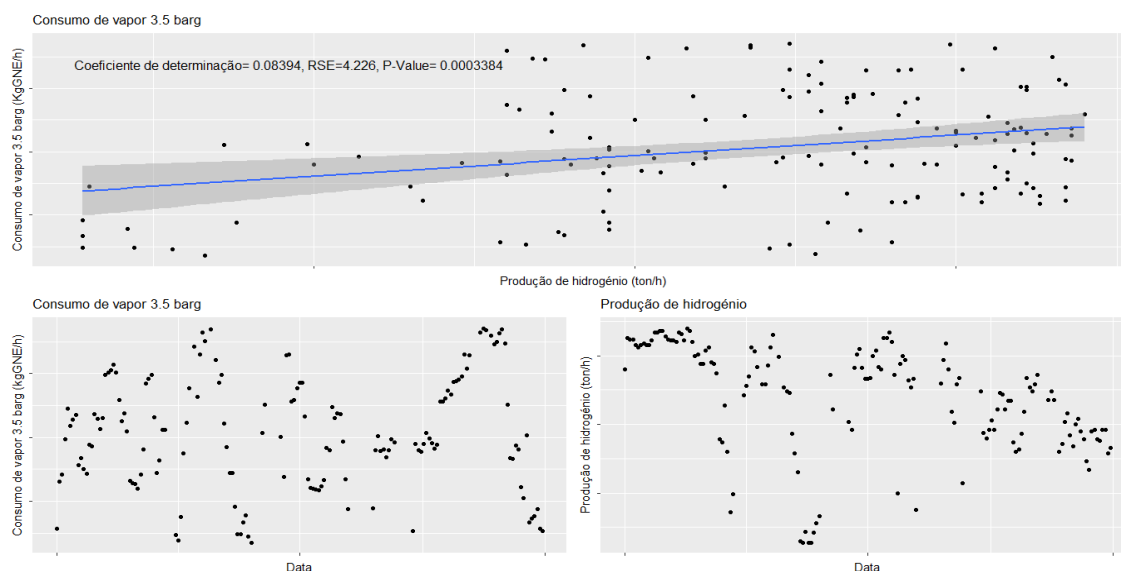


Figura D.13.2-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

Através da figura D.13.2, observa-se uma alteração de comportamento bastante considerável após maio de 2017, resultando na produção de dois modelos significativamente diferentes utilizando dados posteriores a junho de 2017 e anteriores a abril de 2017.

A figura seguinte representa os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

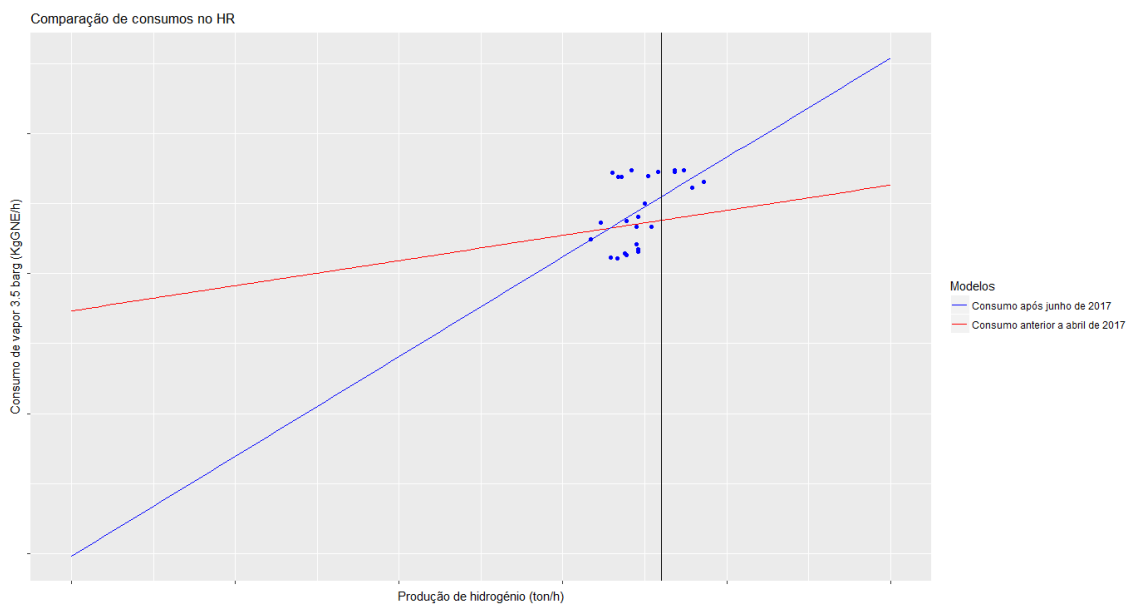


Figura D.13.3-Comparação entre modelos lineares.

Através da análise da figura D.13.3, conclui-se que o consumo de vapor 3.5 barg aumenta com o aumento da quantidade produzida de hidrogénio.

Consumo de gás natural

O gás natural é consumido no forno. Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.13.4, o comportamento do consumo de gás natural e da quantidade de hidrogénio produzida na unidade.

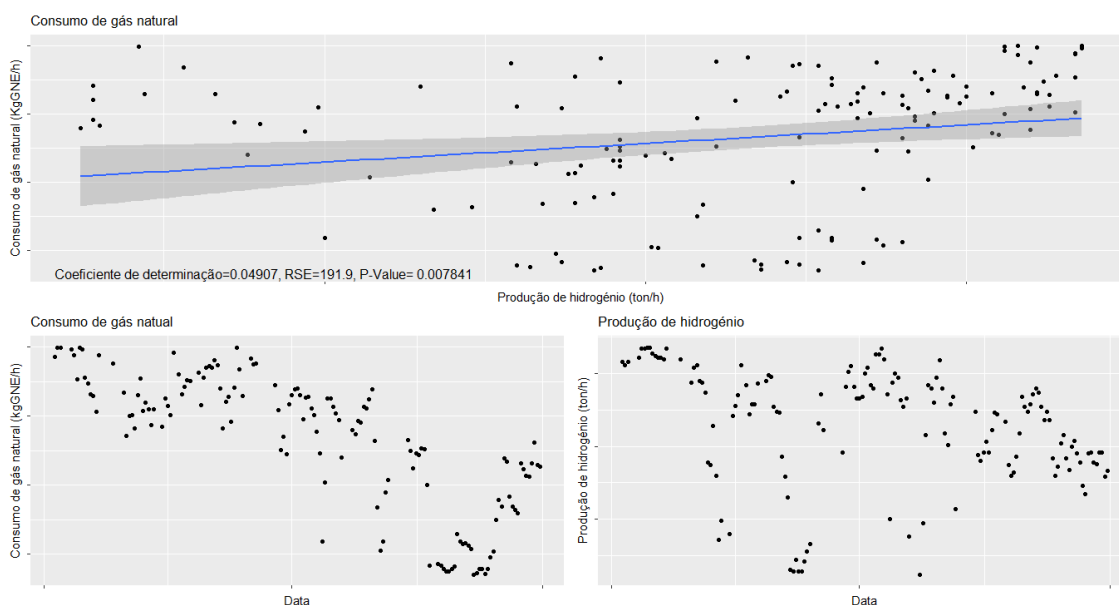


Figura D.13.4-Comportamento do consumo de gás natural e da quantidade produzida de hidrogénio.

Através da análise da figura D.13.4, verifica-se uma alteração considerável entre a relação do consumo de gás natural e a produção de hidrogénio da unidade em abril de 2017. Deste modo foram produzidos dois modelos significativamente distintos utilizando dados posteriores e anteriores a abril de 2017.

A figura seguinte representa os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

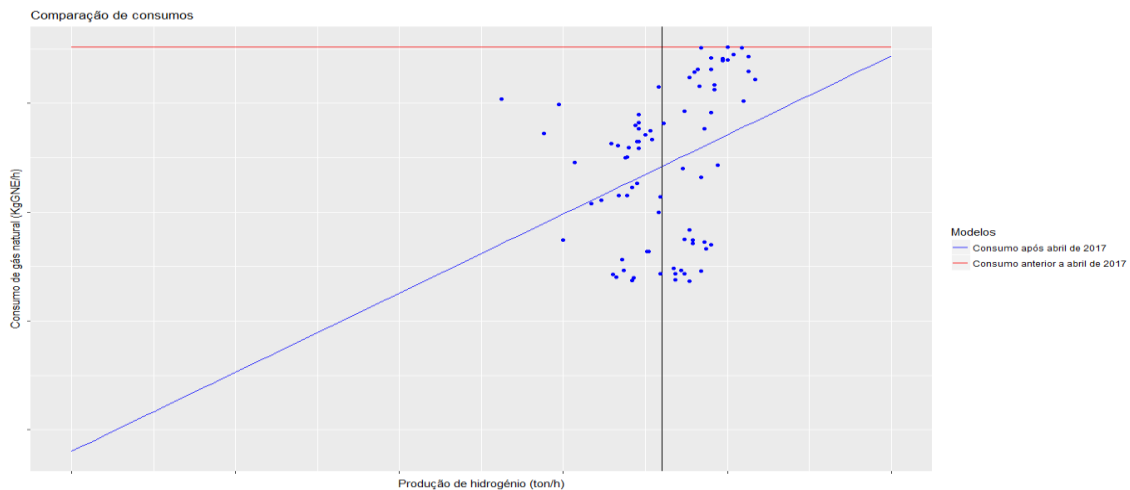


Figura D.13.5-Comparação de modelos lineares.

O consumo de gás natural apenas se relaciona, de forma significativa, com a quantidade de hidrogénio produzido na unidade. Através da análise da figura D.13.5, conclui-se que quando a produção de hidrogénio aumenta o consumo de gás natural também aumenta.

Consumo de tail gás

O tail gás é consumido no forno. Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores é representado graficamente, através da figura D.13.6, o comportamento do consumo de tail gás e da quantidade de hidrogénio produzido na unidade.

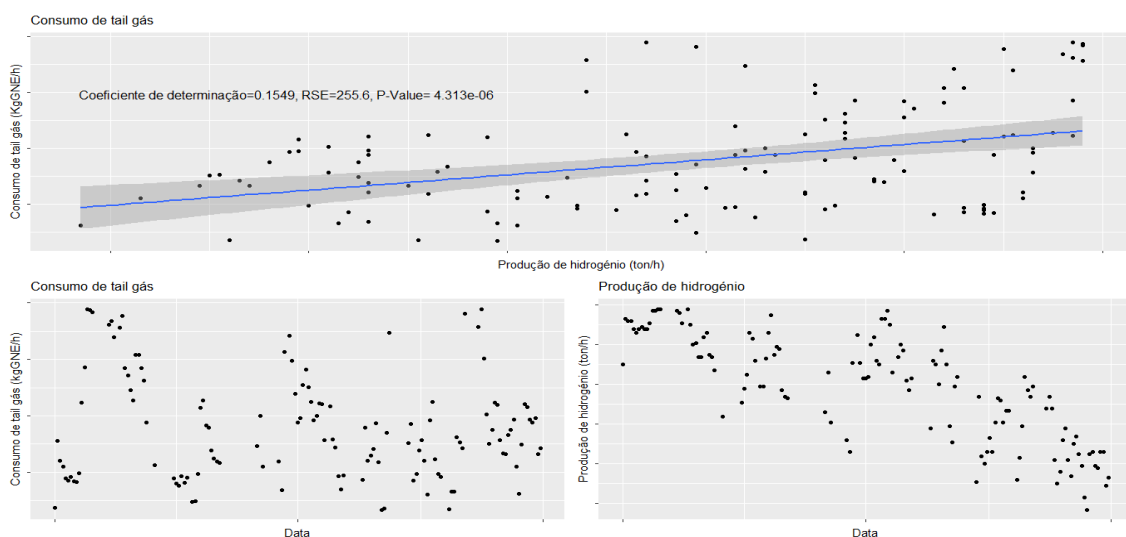


Figura D.13.6-Comportamento do consumo de tail gás e da quantidade de hidrogénio produzido.

De modo semelhante ao consumo de gás natural, o consumo de tail gás apresenta uma relação significativa apenas com a quantidade de hidrogénio produzida. Através da análise da figura D.13.6, conclui-se que apesar de existir uma variabilidade considerável em relação a alguns consumos com produção de hidrogénio semelhante, o consumo de tail gás aumenta com o aumento da produção de hidrogénio.

Consumo de combustível

Seguindo o mesmo raciocínio que nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.13.7, o comportamento do combustível e da quantidade de hidrogénio produzido na unidade.

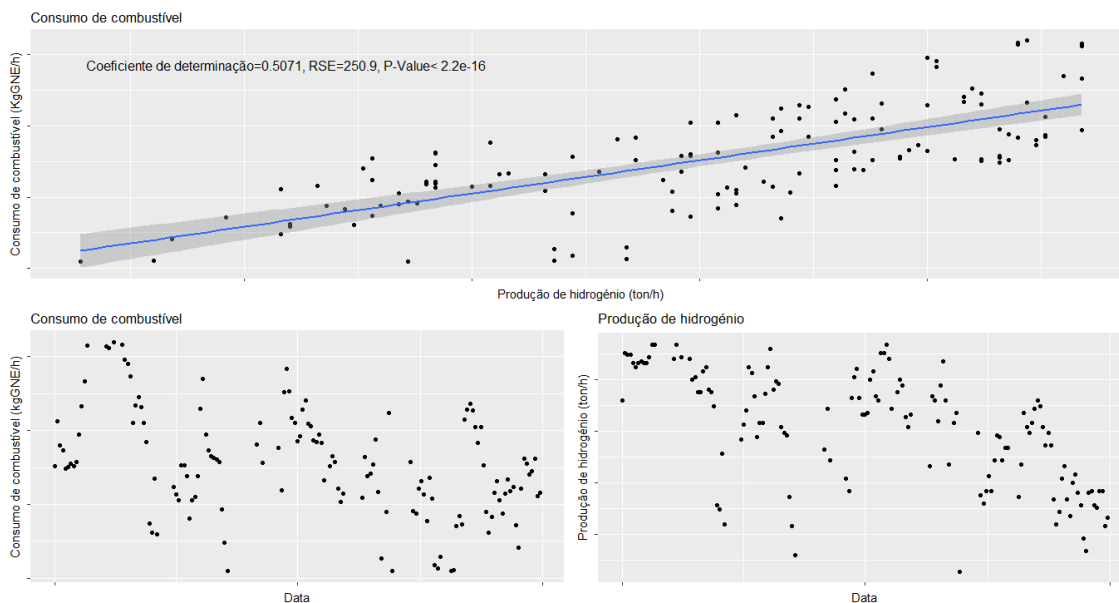


Figura D.13.7-Comportamento do consumo de combustível e da quantidade de hidrogénio produzido.

Através da análise da figura D.13.7, observa-se que o consumo de combustível apresenta uma relação bastante significativa com a quantidade de hidrogénio produzido. À semelhança do consumo de tail gás e gás natural, o consumo de combustível aumenta com o aumento da quantidade de hidrogénio produzido.

Consumo de eletricidade

Através do raciocínio utilizado nas unidades anteriores, analisou-se o comportamento do consumo médio de eletricidade e da quantidade média de hidrogénio produzido na unidade. São representados estes comportamentos através da figura seguinte.

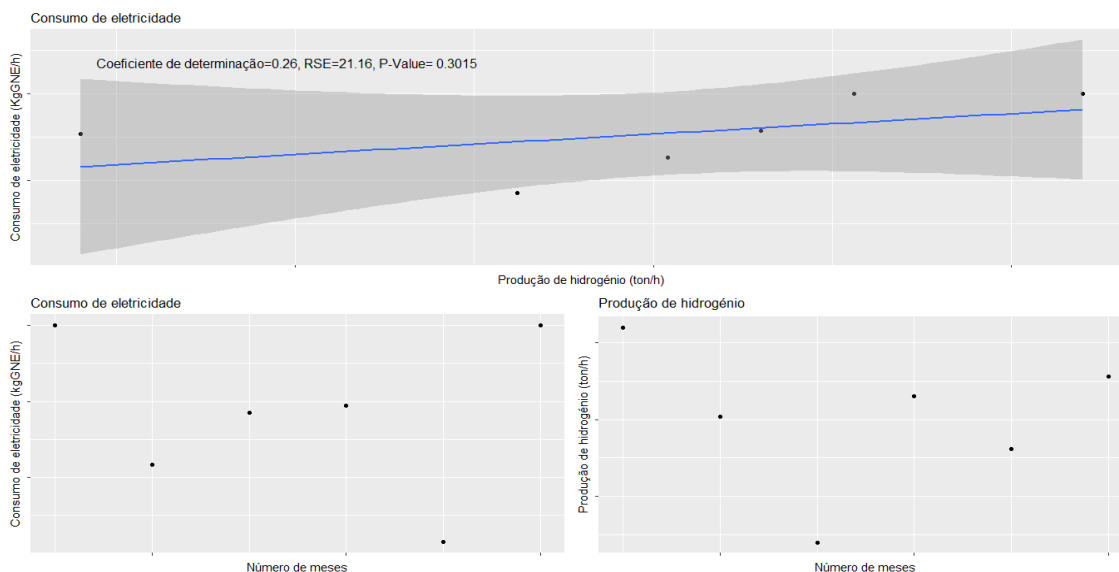


Figura D.13.8-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de hidrogénio produzido.

Através da análise da figura D.13.8, verifica-se que o consumo de eletricidade é independente da quantidade de carga da unidade, isto deve-se à quantidade mínima de pontos utilizados e às diferenças elevadas entre si.

Consumo bruto

Através do raciocínio utilizado na análise aos consumos da unidade, é representado graficamente, através da figura D.13.9, o comportamento do consumo bruto e da quantidade de hidrogénio produzido na unidade.

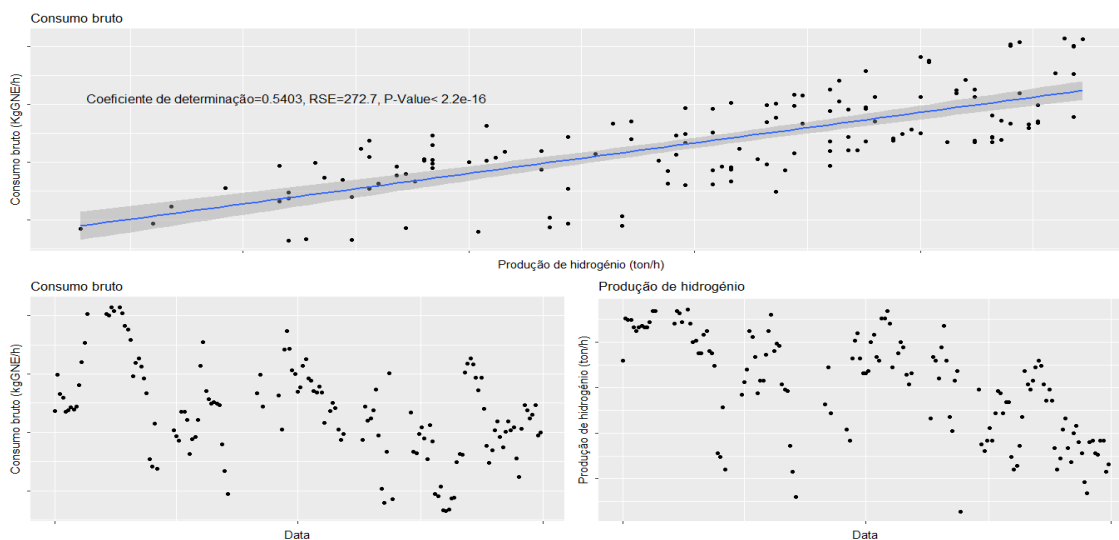


Figura D.13.9-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de hidrogénio produzido.

Através da análise da figura D.13.9, verifica-se que o consumo bruto apresenta um comportamento semelhante ao consumo de combustível da unidade, o que se deve ao facto deste representar mais de 90% do cálculo do consumo bruto. Concluindo a análise, tal como o consumo de combustível, o consumo bruto apenas se relaciona de forma significativa com a quantidade de hidrogénio produzido, sendo que quando a quantidade produzida de hidrogénio aumenta consequentemente o consumo bruto aumenta.

Anexo D.14-HC

Consumo de vapor 24 barg

O vapor 24 barg é consumido principalmente na turbina HC-TV2, representando este o maior consumo de vapor na unidade. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado no FCC.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

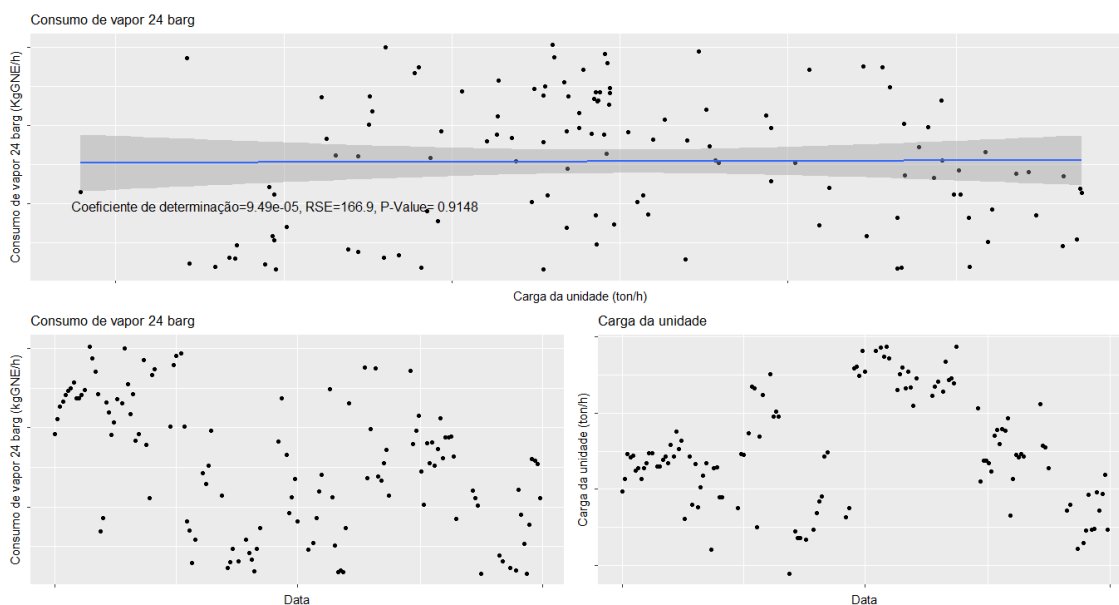


Figura D.14.1-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

Apesar de existir uma variação considerável quanto à quantidade de carga na unidade no final do mês de Março, os dois modelos produzidos por dados após e anterior a esse período de tempo não são significativamente diferentes. Deste modo, conclui-se que devido à elevada variabilidade dos consumos para quantidades de carga semelhantes, o consumo de vapor 24 barg é independente de qualquer variável explicativa.

Produção de vapor 24 barg

O vapor 24 barg é produzido nos geradores de vapor, sendo esta a maior produção na unidade. O raciocínio utilizado na análise desta produção é idêntico ao utilizado no FCC.

Através da figura seguinte é representado o comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

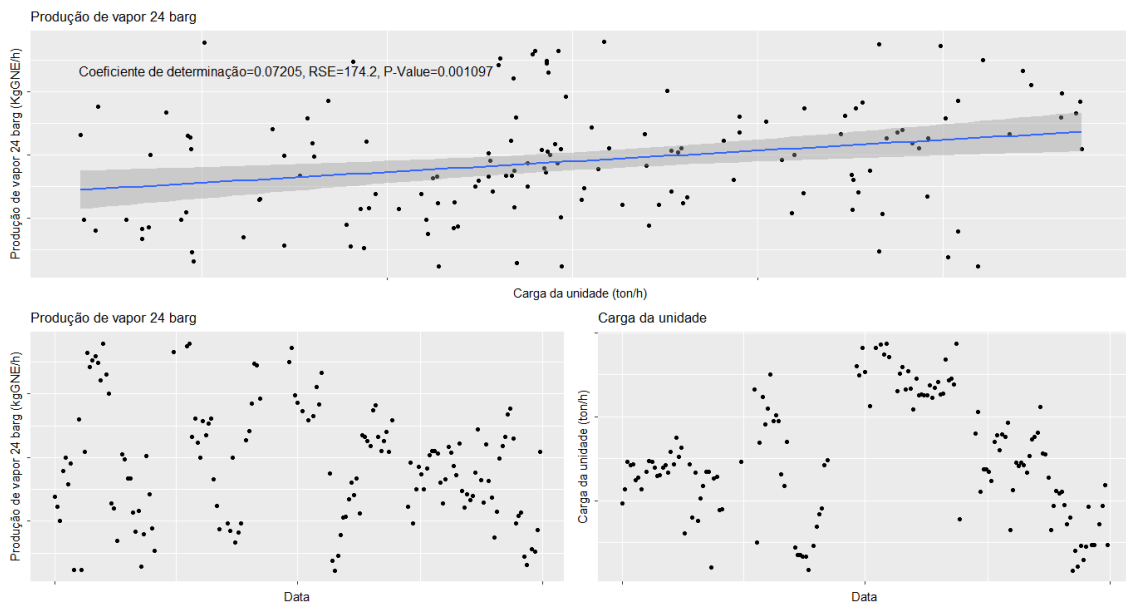


Figura D.14.2-Comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de carga da unidade.

De modo semelhante à análise anterior, estudaram-se os modelos produzidos pelos dados posteriores a 1 de abril de 2017 e anteriores a 20 de março de 2017, sendo que neste caso concluiu-se que os modelos são significativamente diferentes.

A figura seguinte representa os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

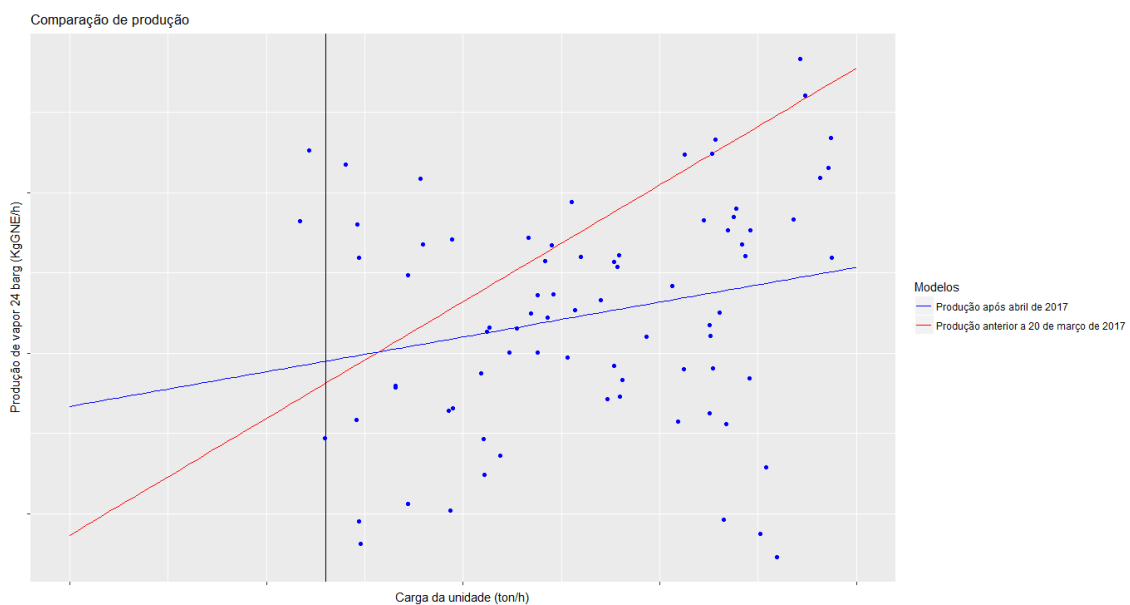


Figura D.14.3-Comparação entre modelos lineares.

Através da análise da figura D.14.3, conclui-se que apesar da variabilidade elevada de produções para cargas semelhantes, a produção de vapor 24 barg apresenta uma relação significativa com a quantidade de carga da unidade, sendo que quando esta aumenta o consumo também aumenta.

Consumo de vapor 3.5 barg

O vapor 3.5 barg é consumido principalmente nos fornos. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado no FCC.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

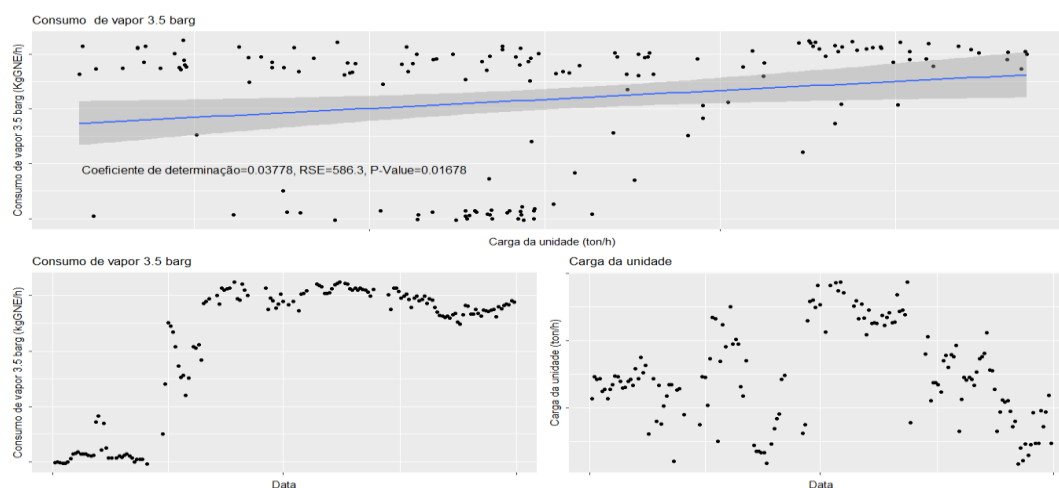


Figura D.14.4-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.14.4, observa-se uma alteração considerável no consumo de vapor 3.5 barg em março de 2017. Porém os modelos produzidos através dos valores anteriores a fevereiro e posteriores a abril não são considerados significativamente diferentes. Concluindo a análise, apesar da variabilidade elevada o consumo de vapor 3.5 barg aumenta com o aumento da quantidade de carga da unidade.

Produção de vapor 3.5 barg

O vapor 3.5 barg é produzido nos acumuladores. O raciocínio utilizado na análise desta produção é idêntico ao utilizado no FCC.

Através da figura seguinte é representado o comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

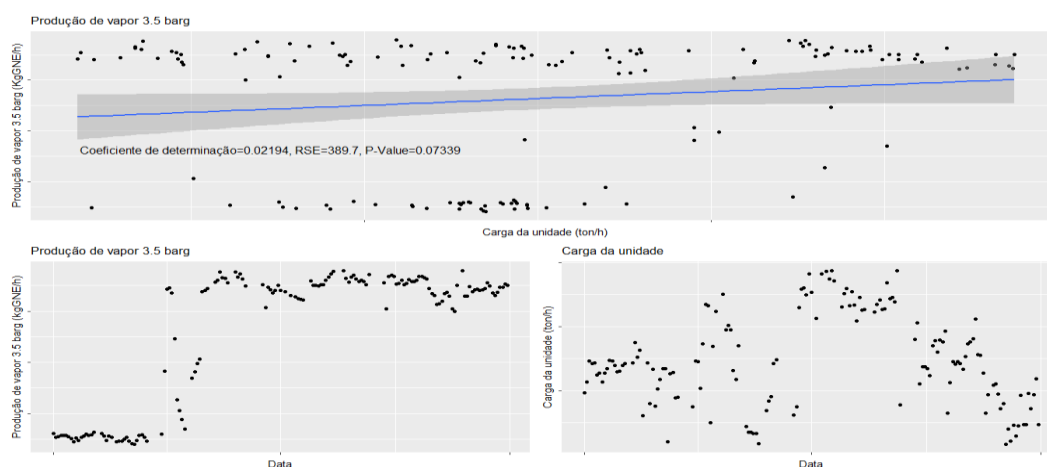


Figura D.14.5-Comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de carga da unidade.

À semelhança do consumo de vapor 3.5 barg, a produção de vapor 3.5 barg aumenta de forma considerável em março de 2017. Adicionalmente, não se produzem modelos significativamente diferentes a partir de dados após e anterior a esse período de tempo. Apesar disso, ao contrário do consumo de vapor 3.5 barg, a produção de vapor 3.5 barg é independente em relação a qualquer variável explicativa.

Consumo de vapor

Seguindo o raciocínio idêntico às análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.14.6, o comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade.

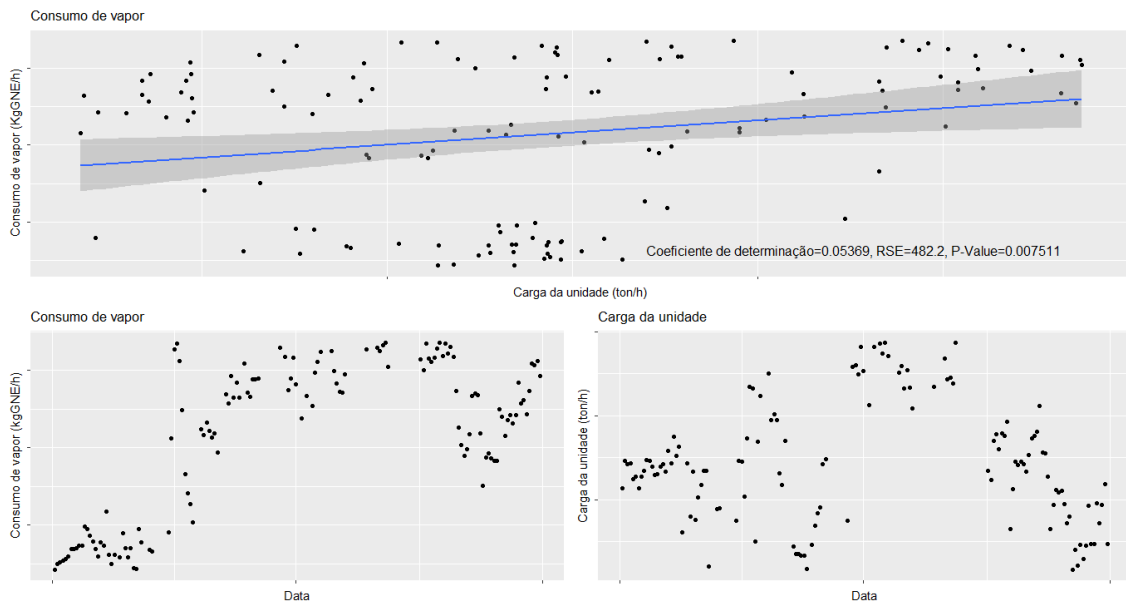


Figura D.14.6-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de carga da unidade.

De modo semelhante à análise do consumo de vapor 3.5 barg, observa-se uma alteração considerável em março de 2017, sendo que também não se verificou para os dados anteriores e posteriores a esse período de tempo a formação de dois modelos significativamente diferentes. Concluindo a análise, verifica-se que o consumo de vapor só é dependente em relação à quantidade de carga da unidade.

Produção de vapor

Seguindo o raciocínio utilizado nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.14.7, o comportamento da produção de vapor e da quantidade de carga da unidade.

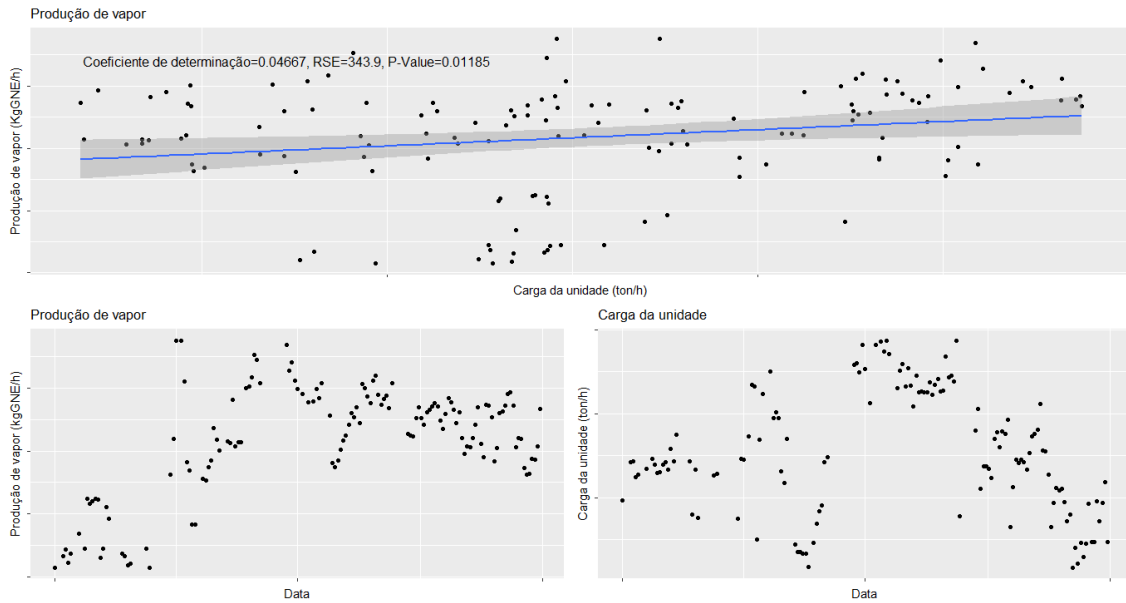


Figura D.14.7-Comportamento da produção de vapor e da quantidade de carga da unidade.

À semelhança das anteriores análises, verifica-se uma variação considerável em meados de março de 2017, porém neste caso são formados dois modelos significativamente diferentes utilizando dados anteriores e posteriores a março de 2017.

A figura seguinte representa os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.



Figura D.14.8-Comparação entre modelos lineares.

Através da análise da figura D.14.8, conclui-se que a produção aumenta com o aumento da quantidade de carga da unidade.

Consumo de fuel gás

O fuel gás é consumido maioritariamente nos fornos. Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.14.9, o comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade.

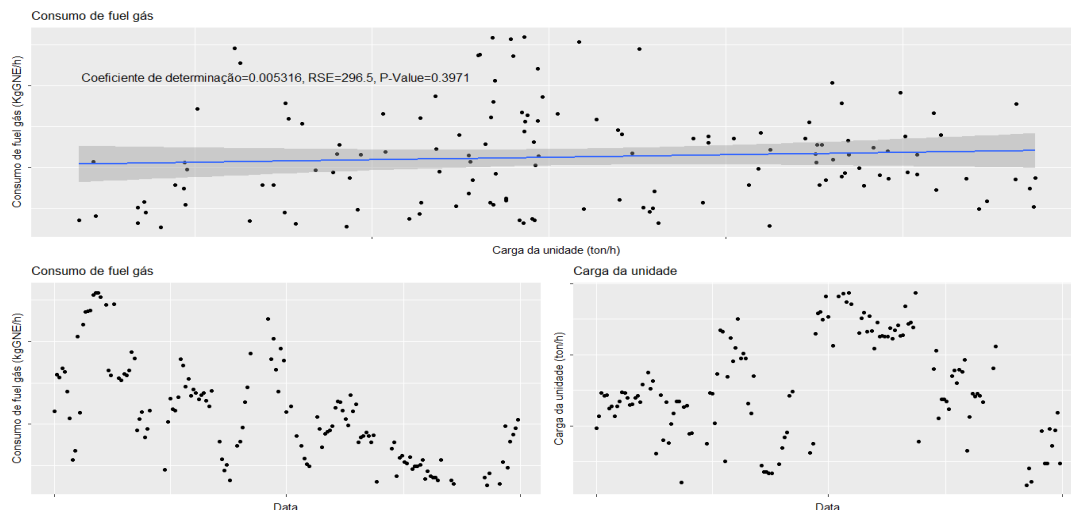


Figura D.14.9-Comportamento de consumo de fuel gás e da quantidade de carga da unidade.

De modo semelhante às anteriores análises, foram estudados, em detalhe, os dados posteriores e anteriores a abril de 2017, porém não se verificou a formação de dois modelos significativamente diferentes. Concluindo a análise, observa-se que o consumo de fuel gás é independente da quantidade de carga da unidade, porém o consumo de fuel gás da unidade poderá estar relacionado de forma significativa com o efeito de *fouling*.

Com o objectivo de identificar o efeito que o *fouling* possui em relação ao consumo de fuel gás na unidade, analisou-se o consumo específico do fuel gás entre os dias 20 de maio de 2017 e 30 de junho de 2017. A figura seguinte representa o aumento do consumo específico de fuel gás ao longo desse período de tempo.

Efeito de *fouling* no HC

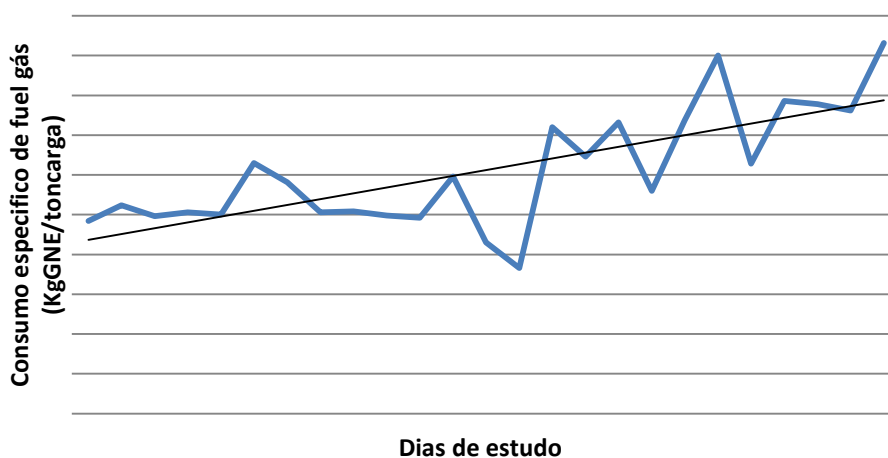


Figura D.14.10-Efeito de fouling no HC.

Através da figura D.14.10, conclui-se que a acumulação de *fouling* na unidade causa um aumento significativo no consumo de fuel gás. O aumento drástico de fuel gás para apenas 42 dias é preocupante, podendo este valor estar inflacionado pelo teor de enxofre na carga da unidade.

Consumo de gás natural

O gás natural é consumido nos fornos. Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.14.11, o comportamento do consumo de gás natural e da quantidade de carga da unidade.

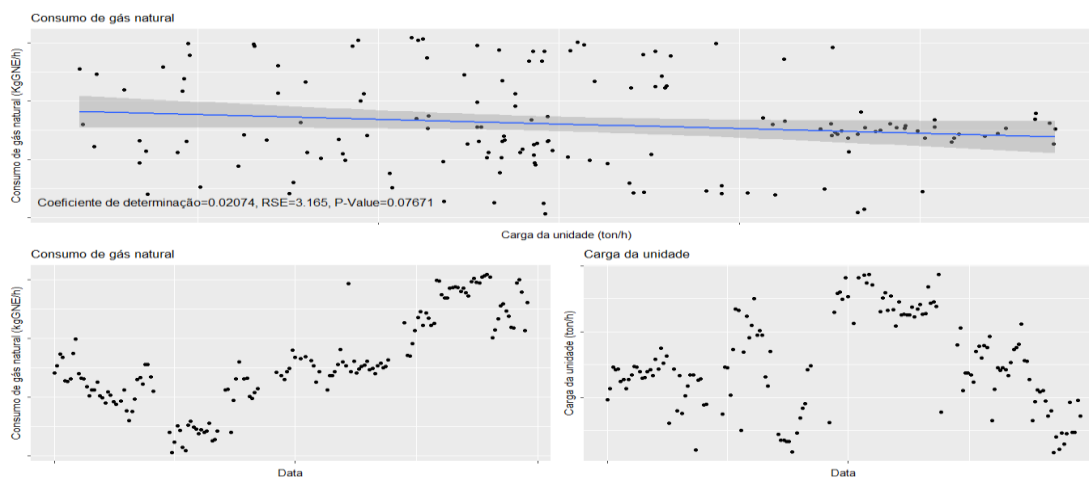


Figura D.14.11-Comportamento do consumo de gás natural e da quantidade de carga da unidade.

À semelhança das análises anteriores, foram estudados os dados posteriores e anteriores a abril de 2017, sendo que o resultado foi semelhante às restantes análises. Concluindo, o consumo de gás natural, apesar da elevada variabilidade de valores, é independente da quantidade de carga da unidade.

Consumo de combustível

Seguindo o mesmo raciocínio que nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.14.12, o comportamento do combustível e da quantidade de carga da unidade.

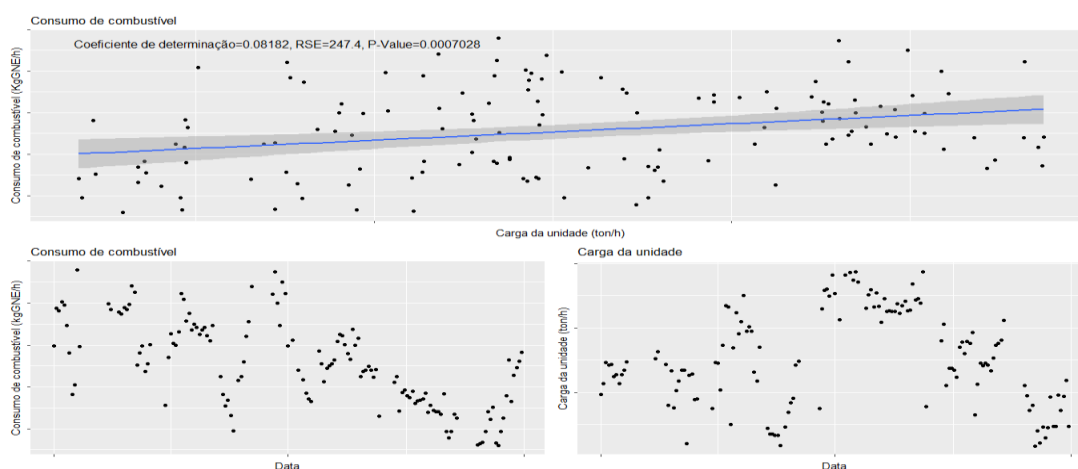


Figura D.14.12-Comportamento do consumo de combustível e da quantidade de carga da unidade.

Devido à diferença em relação às quantidades consumidas de gás natural e fuel gás, o consumo de combustível apresenta o mesmo comportamento que o consumo de fuel gás. Foram estudados, de modo semelhante, os dados anteriores e posteriores a abril de 2017, porém não ocorreu a formação de modelos significativamente diferentes. Concluindo a análise, apesar do fuel gás e o gás natural serem independentes da quantidade de carga, o consumo de combustível aumenta quando a quantidade de carga da unidade aumenta.

Consumo de eletricidade

Através do raciocínio utilizado nas unidades anteriores, analisou-se o comportamento do consumo médio de eletricidade e da quantidade média de carga da unidade. São representados estes comportamentos através da figura seguinte.

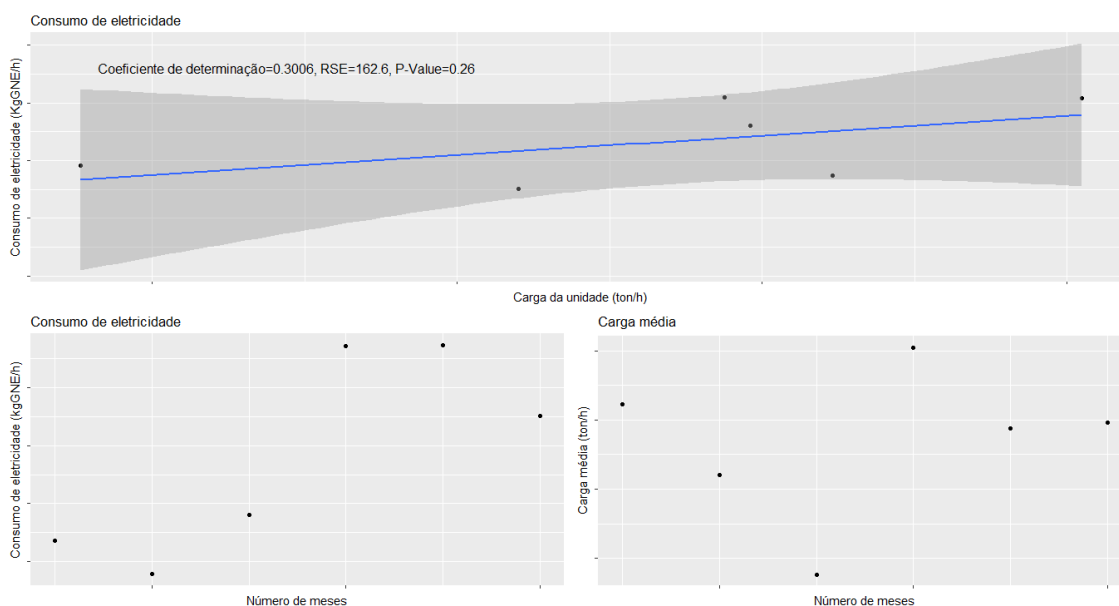


Figura D.14.13-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de carga da unidade.

Através da análise da figura D.14.13, verifica-se que o consumo de eletricidade é independente da quantidade de carga da unidade, o que se deve à quantidade mínima de pontos utilizados e às diferenças elevadas entre si.

Consumo bruto

Através do raciocínio utilizado na análise aos consumos da unidade, é representado graficamente, através da figura D.14.14, o comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade.

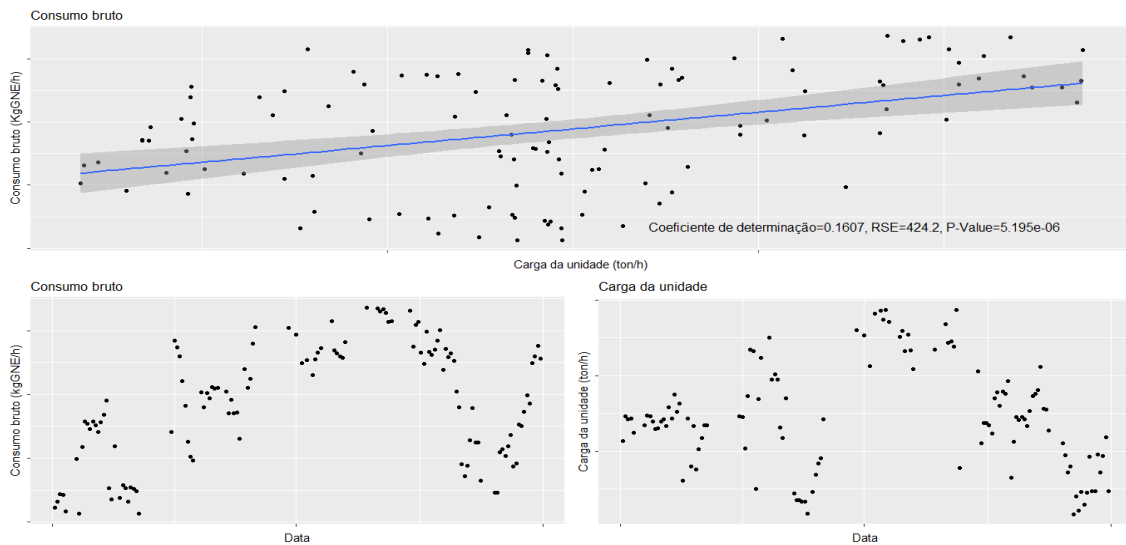


Figura D.14.14-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de carga da unidade.

Apesar de não existir uma diferença muito elevada em relação à quantidade consumida de fuel gás e de vapor, o consumo bruto apresenta o mesmo comportamento que o consumo de vapor, o que se deve a uma maior variabilidade em relação aos seus valores. Foi realizada a mesma análise que no consumo de vapor, sendo a conclusão obtida idêntica, ou seja, não ocorre a formação de modelos significativamente diferentes através da distinção de dados e o consumo aumenta com o aumento da quantidade de carga da unidade.

Anexo D.15-SS

Produção de vapor 24 barg

O vapor 24 barg é produzido principalmente nas caldeiras. O raciocínio utilizado na análise desta produção é idêntico ao utilizado nas unidades anteriores.

Através da figura seguinte é representado o comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de enxofre produzido na unidade, sendo esta o preditor base dos modelos estabelecidos para as unidades de recuperação de enxofre.

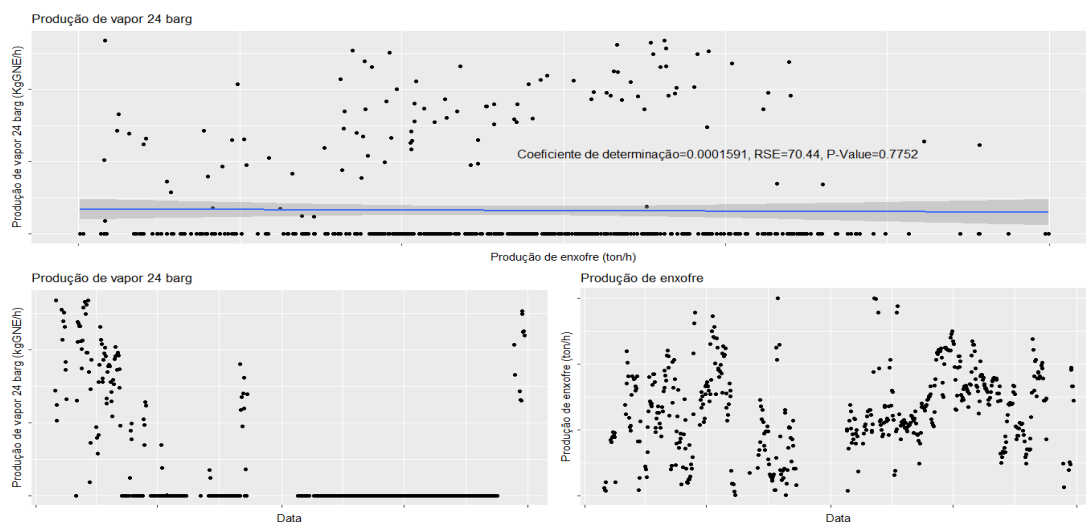


Figura D.15.1-Comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de enxofre produzido.

Através da análise da figura D.15, verifica-se que a produção de vapor 24 barg passa diversas vezes de um valor de produção variável para nulo, ou seja, ocorrem diversas paragens quanto à produção de vapor 24 barg. Dado que as ocorrências em que não existe produção são superiores às que existe, conclui-se que a produção de vapor 24 barg é independente em relação a qualquer variável explicativa.

Produção de vapor 10.5 barg

O vapor 10.5 barg é produzido nas caldeiras. O raciocínio utilizado na análise desta produção é idêntico ao utilizado na análise anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento da produção de vapor 10.5 barg e da quantidade de enxofre produzido na unidade.

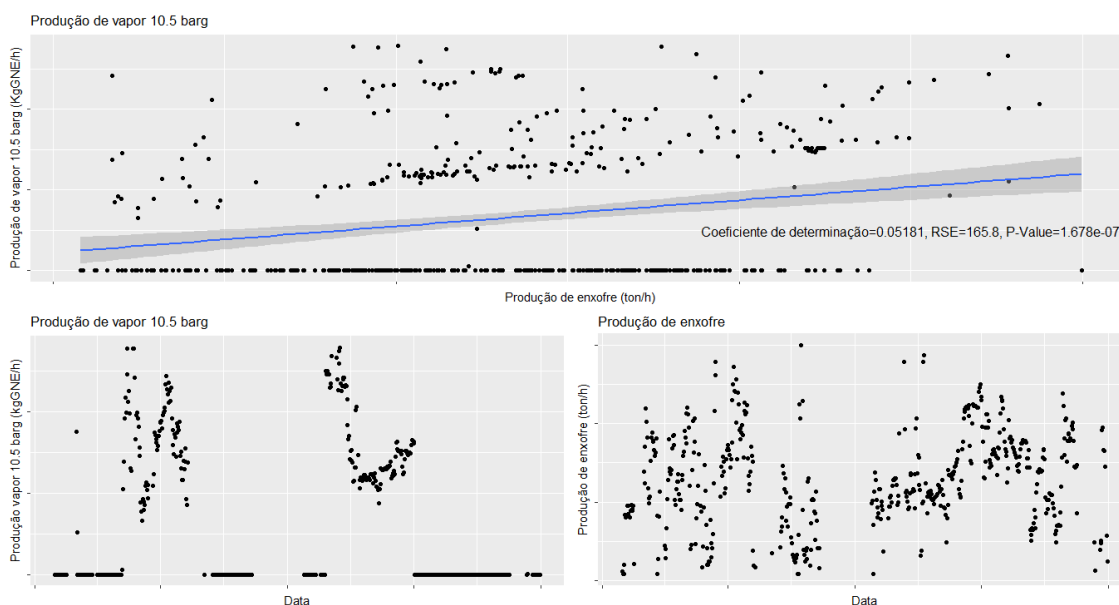


Figura D.15.2-Comportamento da produção de vapor 10.5 barg e da quantidade de enxofre produzido.

Através do raciocínio utilizado na produção anterior, conclui-se que quando existe produção de vapor 10.5 barg esta aumenta com o aumento da quantidade de enxofre produzido, porém devido ao número considerável de valores nulos considera-se que a produção de vapor 10.5 barg, de forma geral, é independente em relação às variáveis explicativas.

Produção de vapor 3.5 barg

O vapor 3.5 barg é produzido nas caldeiras. O raciocínio utilizado na análise desta produção é idêntico ao utilizado nas análises anteriores.

Através da figura seguinte é representado o comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de enxofre produzido da unidade.

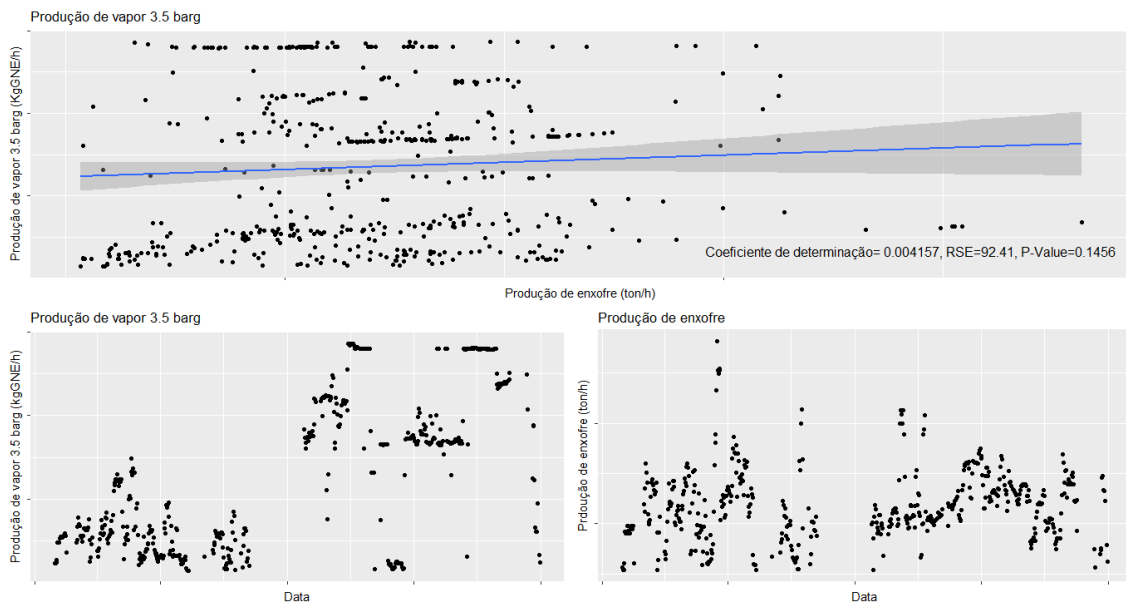


Figura D.15.3-Comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de enxofre produzido.

Através da análise da figura D.15.3, verifica-se uma paragem na unidade no final do ano de 2015. Uma vez que ocorre um aumento considerável na produção após a paragem foram formulados dois modelos significativamente diferentes utilizando dados posteriores e anteriores à paragem.

A figura seguinte representa os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

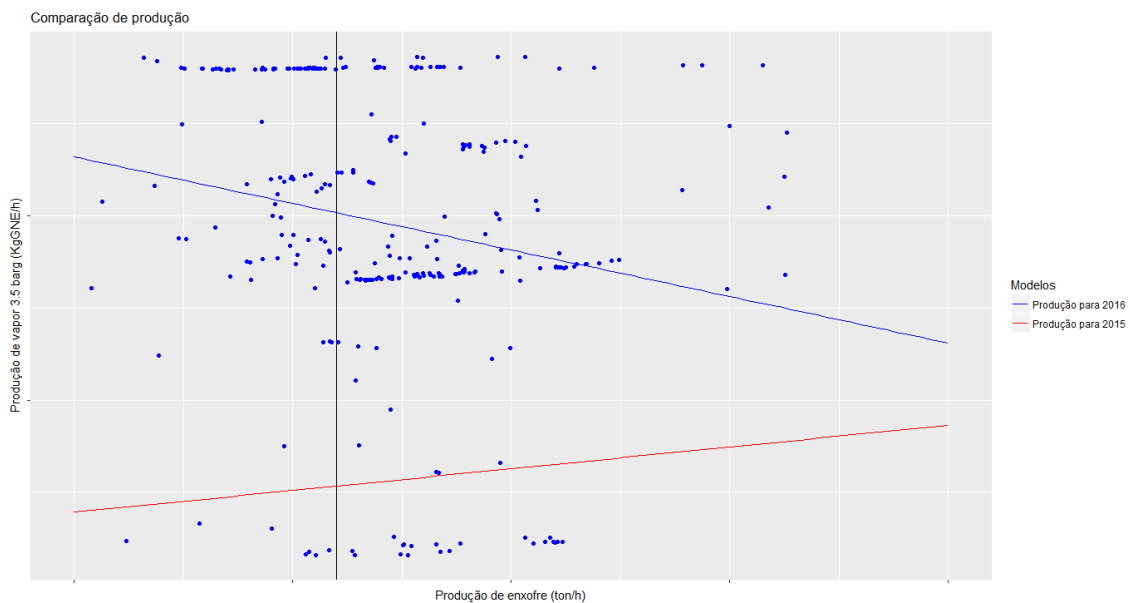


Figura D.15.4-Comparação entre modelos lineares.

Através da análise da figura D.15.4, observa-se uma variabilidade elevada da resposta do modelo. Deste modo os modelos obtidos contêm um erro bastante considerável associado. O modelo mais adequado, por ser o mais próximo do período atual de operação da refinaria, indica que a produção de vapor 3.5 barg diminui com o aumento da produção de enxofre.

Consumo de vapor/Consumo de vapor 3.5 barg

O vapor 3.5 barg é consumido nos ejectores. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado nas análises anteriores.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de enxofre produzido da unidade.

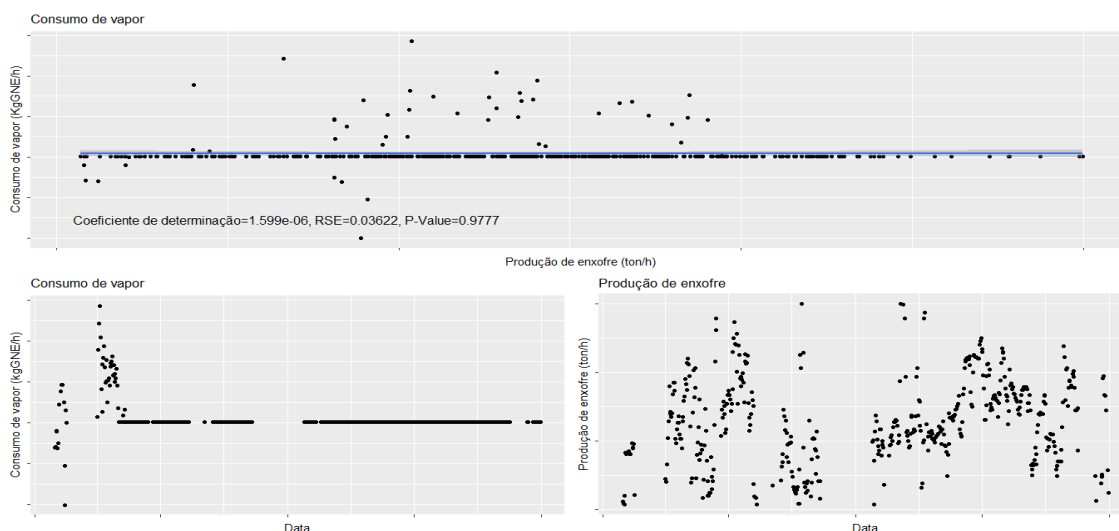


Figura D.15.5-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de enxofre produzido.

Através da análise da figura D.15.5, observa-se uma estagnação do consumo de vapor em maio de 2015, concluindo-se que o consumo de vapor é independente em relação a qualquer variável explicativa.

Produção de vapor

Seguindo o mesmo raciocínio que nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.15.6, o comportamento da produção de vapor e da quantidade de enxofre produzido.

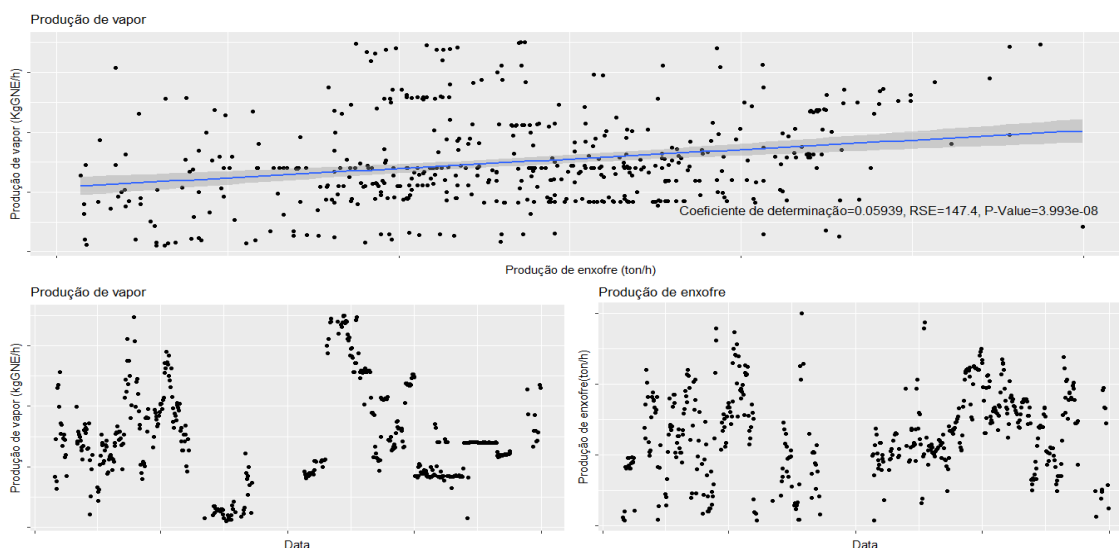


Figura D.15.6-Comportamento da produção de vapor e da quantidade de enxofre produzido.

A produção de vapor apresenta um comportamento semelhante à produção de vapor 3.5 barg, dada a maior variabilidade desta produção em relação às restantes. De modo idêntico à produção de vapor 3.5 barg, foram formados dois modelos significativamente diferentes com base nos dados posteriores e anteriores à paragem.

A figura seguinte representa os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.



Figura D.15.7-Comparação entre modelos lineares.

À semelhança da produção de vapor 3.5 barg, observa-se uma elevada variabilidade na resposta do modelo, sendo que o modelo mais adequado indica que a produção de vapor é independente da quantidade de enxofre produzido.

Consumo de fuel gás

O fuel gás é consumido maioritariamente no forno. Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.15.8, o comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de enxofre produzido.

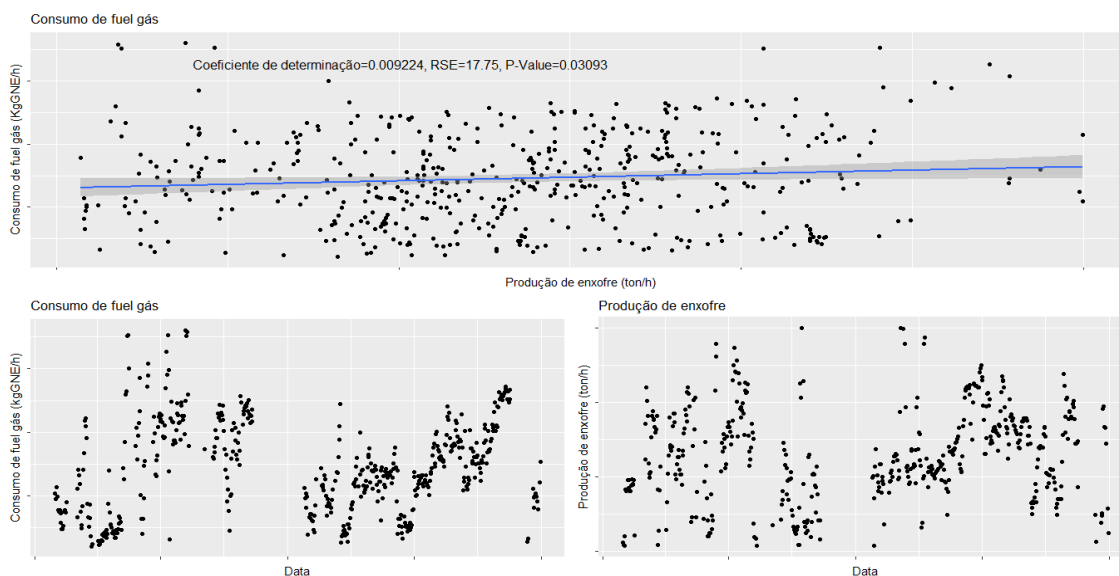


Figura D.15.8-Comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de enxofre produzido.

Observa-se através da figura D.15.8 uma variabilidade elevada do consumo de fuel gás para quantidades semelhantes de enxofre produzido. Apesar de terem sido estudados detalhadamente os dados posteriores e anteriores à paragem, não foi possível a formação de dois modelos significativamente distintos ou a identificação de um efeito de *fouling* significativo. Conclui-se assim que o consumo de fuel gás aumenta com o aumento da quantidade de enxofre produzido.

Consumo de tail gás

O tail gás é consumido maioritariamente no forno. Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.15.9, o comportamento do consumo de tail gás e da quantidade de enxofre produzido.

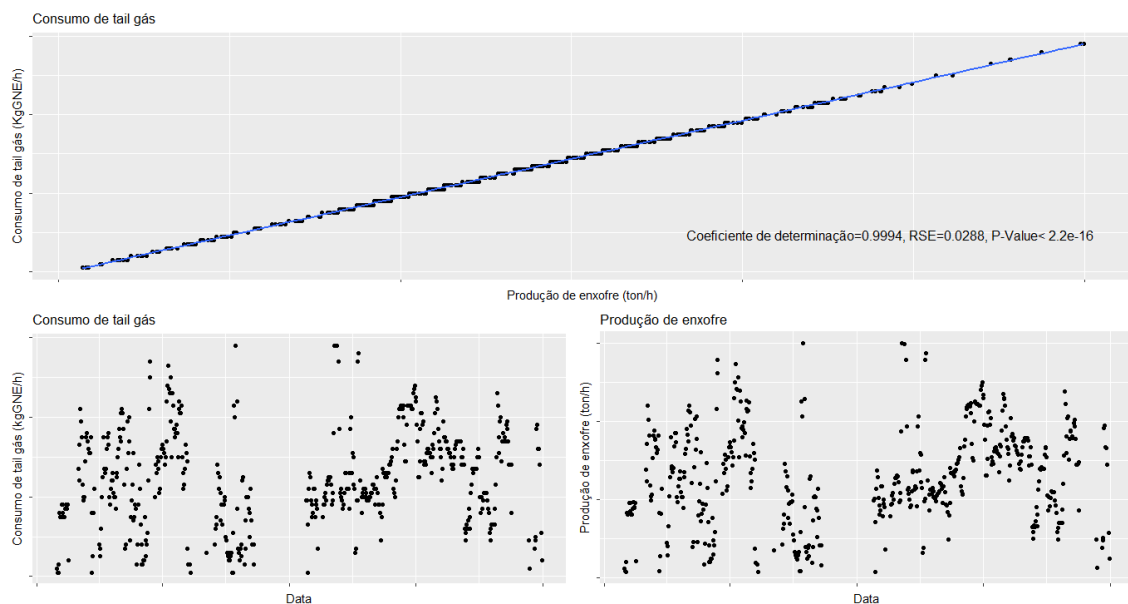


Figura D.15.9-Comportamento do tail gás e da quantidade produzida de enxofre.

Através da análise da figura D.15.9, conclui-se que o consumo de tail gás apresenta dependência exclusivamente com a quantidade de enxofre produzido, sendo que quando esta aumenta, o consumo de tail gás aumenta.

Consumo de combustível

Seguindo o mesmo raciocínio que nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.15.10, o comportamento do combustível e da quantidade de enxofre produzido.

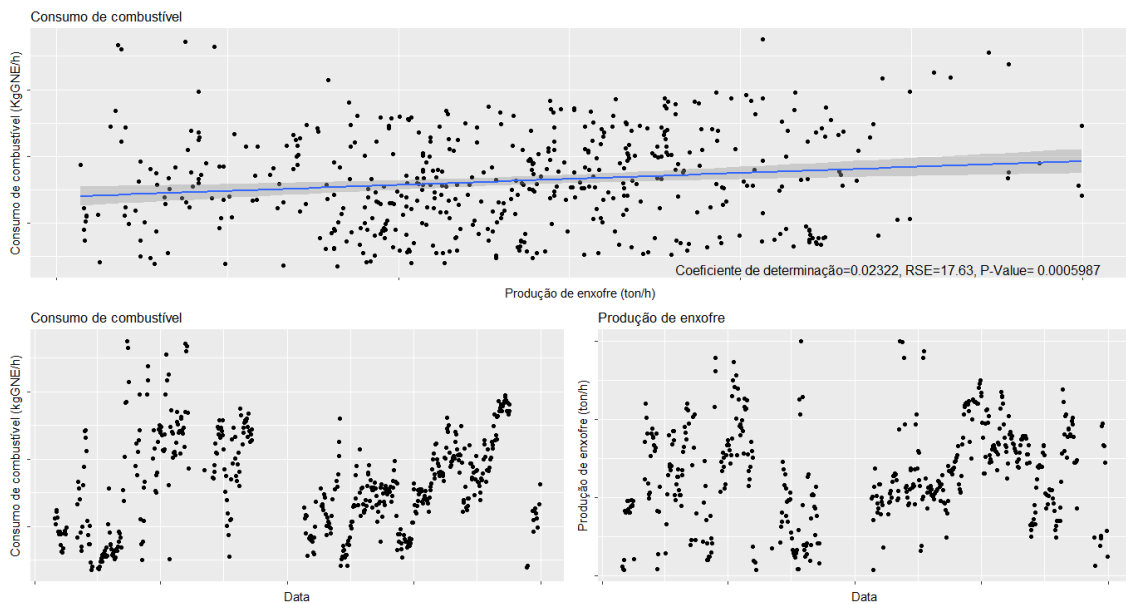


Figura D.15.10-Comportamento do consumo de combustível e da quantidade de enxofre produzido.

O consumo de combustível comporta-se de maneira semelhante ao consumo de fuel gás, devido ao facto da quantidade consumida de tail gás não ser significativa comparativamente com a quantidade consumida de fuel gás. Concluindo, o consumo de combustível, assim como o de fuel gás, variam unicamente com a quantidade de enxofre produzido, sendo que quando esta aumenta, o consumo também aumenta.

Consumo de eletricidade

Através do raciocínio utilizado nas unidades anteriores, analisou-se o comportamento do consumo médio de eletricidade e da quantidade média de enxofre produzido. São representados estes comportamentos através da figura D.15.11.

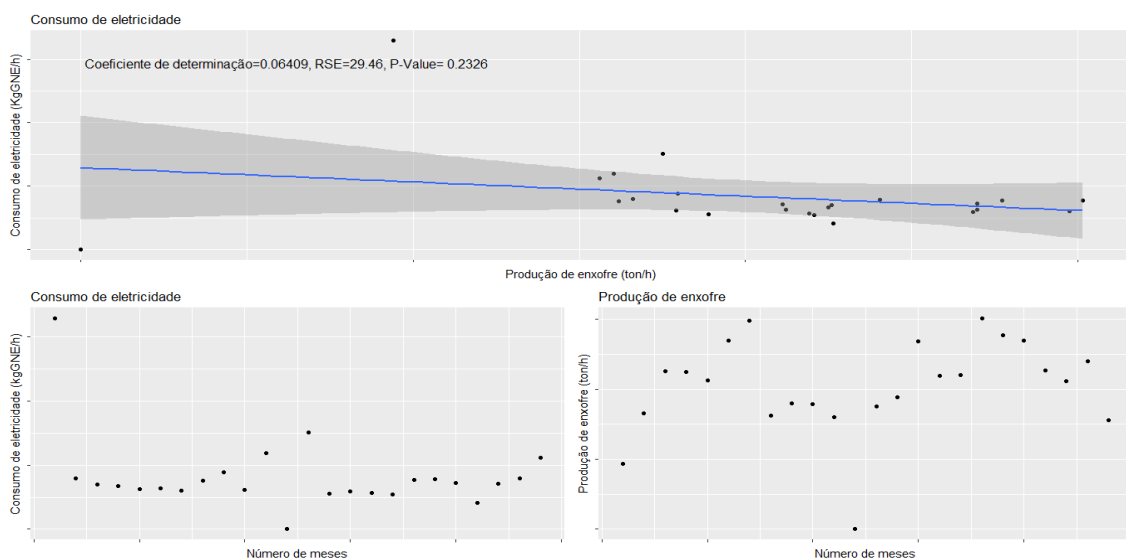


Figura D.15.11-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade produzida de enxofre.

Através da análise da figura D.15.11, verifica-se que o consumo de eletricidade é independente da quantidade de enxofre produzido.

Consumo bruto

Através do raciocínio utilizado na análise aos consumos da unidade, é representado graficamente, através da figura D.15.12, o comportamento do consumo bruto e da quantidade de enxofre produzido.

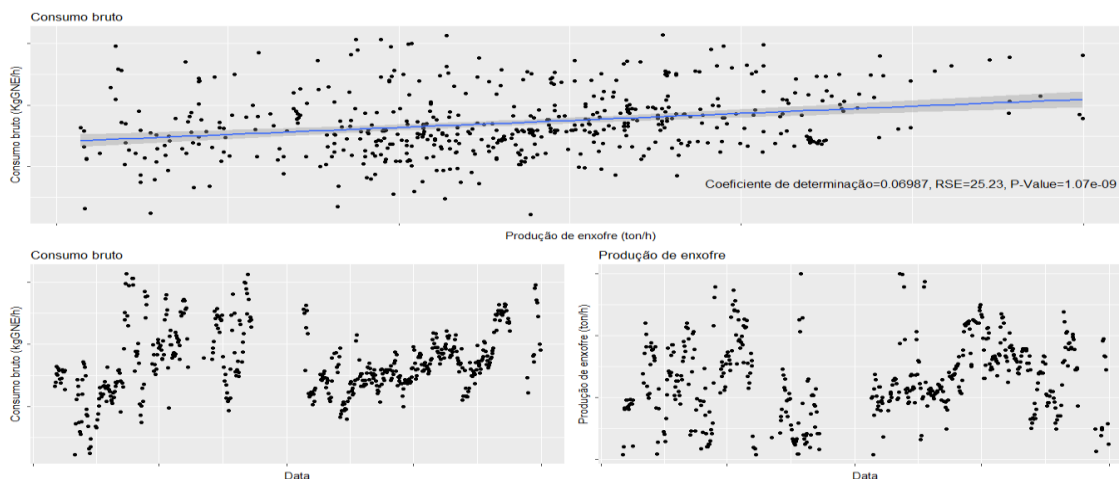


Figura D.15.12-Comportamento do consumo bruto e da quantidade produzida de enxofre.

Através da análise da figura D.15.12, verifica-se que o comportamento do consumo bruto é semelhante ao consumo de combustível, sendo as conclusões semelhantes, ou seja, o consumo bruto não apresenta modelos significativamente diferentes quando segregados os dados e aumenta com o aumento da quantidade de enxofre produzido.

Anexo D.16-SB

Produção de vapor 24 barg

O vapor 24 barg é produzido nas caldeiras. O raciocínio utilizado na análise desta produção é idêntico ao utilizado nas unidade anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de enxofre produzido da unidade.

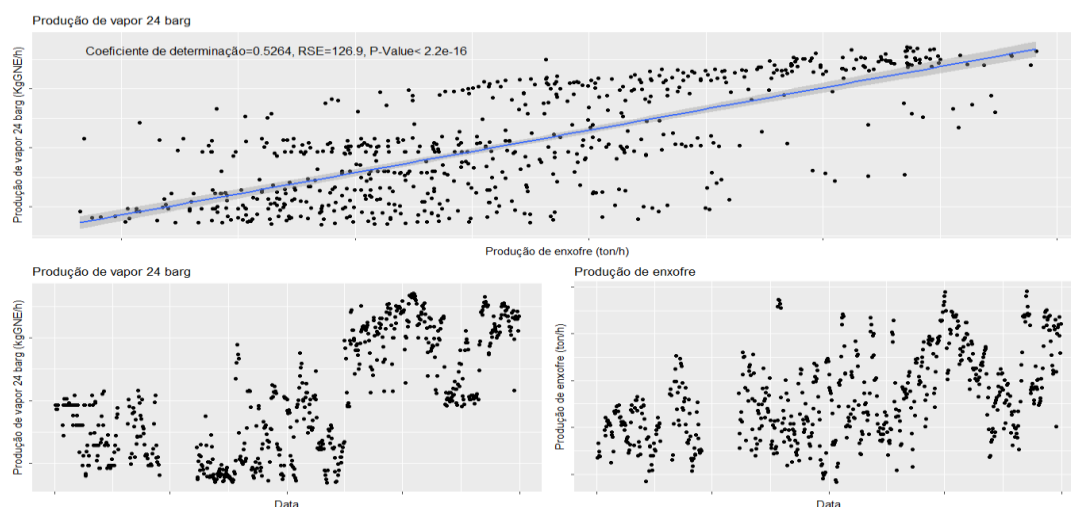


Figura D.16.1-Comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de enxofre produzido.

Através da análise da figura D.16.1, verifica-se um aumento considerável da produção de vapor 24 barg em abril de 2016. Uma vez que este aumento não foi influenciado por qualquer variável explicativa, foram produzidos dois modelos significativamente diferentes com dados posteriores e anteriores a abril de 2016.

A figura seguinte representa os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

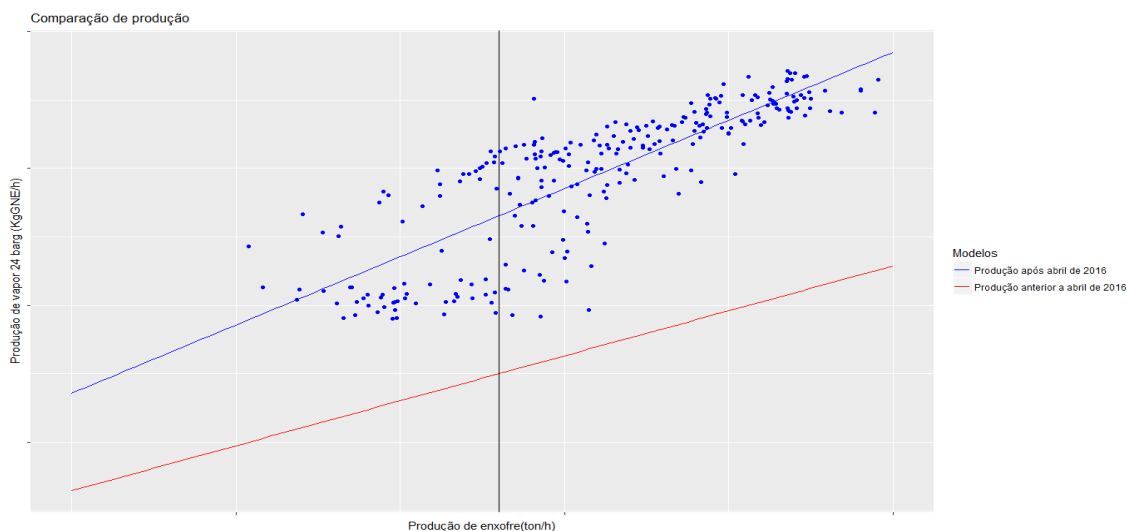


Figura D.16.2-Comparação entre modelos lineares.

Através da análise da figura D.16.2, conclui-se que a produção de vapor 24 barg aumenta com o aumento da quantidade de enxofre produzido.

Consumo de vapor 24 barg

O vapor 24 barg é consumido nos permutadores. O raciocínio utilizado na análise desta produção é idêntico ao utilizado na unidade anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de enxofre produzido da unidade.

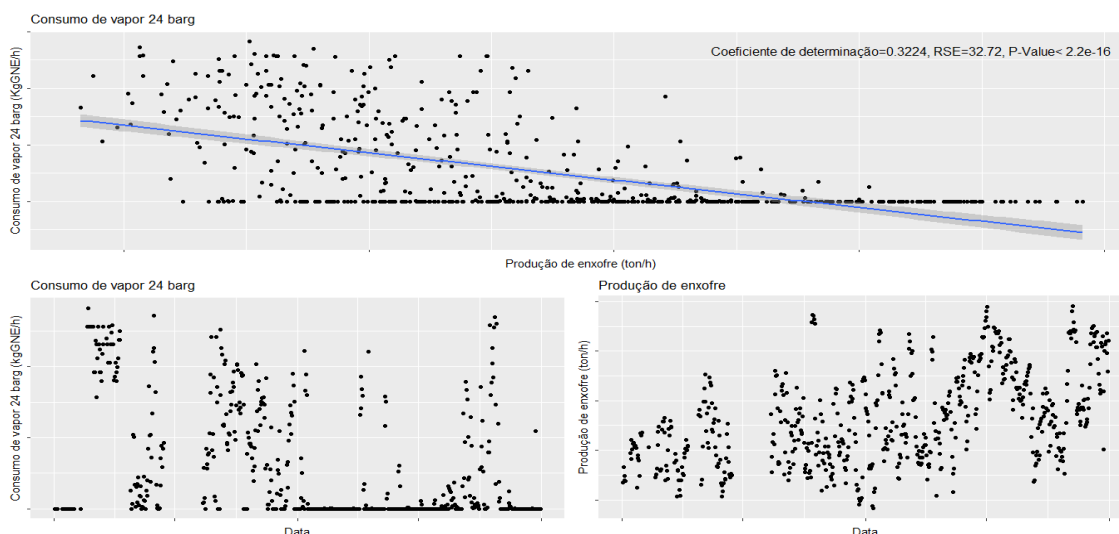


Figura D.16.3-Comportamento do consumo de vapor 24 barg e da quantidade de enxofre produzido.

Como verificado na análise da unidade SS, existem certos consumos e produções que apresentam valores estagnados. Um destes casos é o consumo de vapor 24 barg. Dado que este aparenta tender para um valor nulo quando é aumentada a produção de enxofre, é concluído, através do modelo, que o consumo de vapor 24 barg diminui quando a produção de enxofre aumenta.

Produção de vapor 3.5 barg

O vapor 3.5 barg é produzido nas caldeiras. O raciocínio utilizado na análise desta produção é idêntico ao utilizado nas unidade anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de enxofre produzido da unidade.

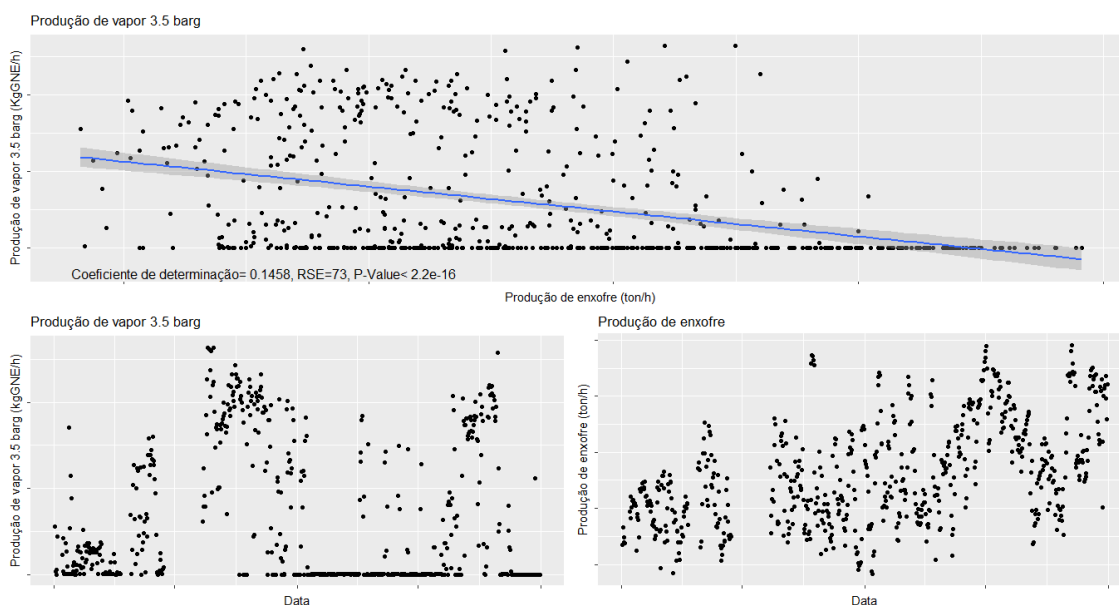


Figura D.16.4-Comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de enxofre produzido.

Através da figura D.16.4, conclui-se que, de modo semelhante à anterior análise, a produção de vapor 3.5 barg diminui com o aumento da quantidade de enxofre produzido.

Consumo de vapor 3.5 barg

O vapor 3.5 barg é consumido nos permutadores. O raciocínio utilizado na análise deste consumo é idêntico ao utilizado na unidade anterior.

Através da figura seguinte é representado o comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de enxofre produzido da unidade.

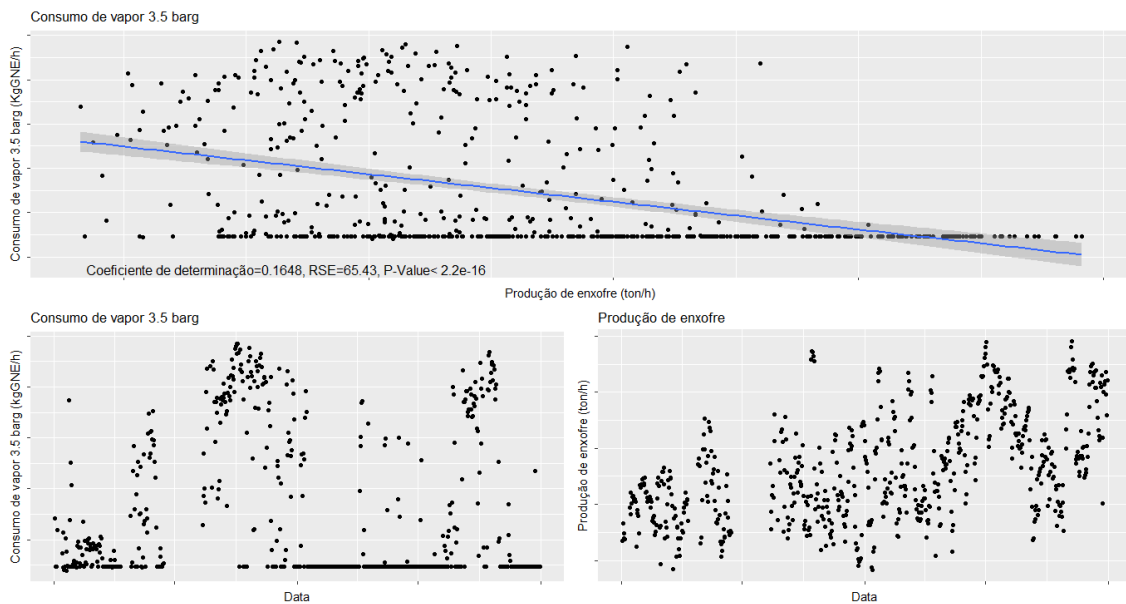


Figura D.16.5-Comportamento do consumo de vapor 3.5 barg e da quantidade de enxofre produzido.

De modo semelhante à anterior análise, conclui-se que o consumo de vapor 3.5 barg diminui quando ocorre um aumento de produção de enxofre.

Produção de vapor

Seguindo o mesmo raciocínio que nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.16.6, o comportamento da produção de vapor e da quantidade de enxofre produzido.

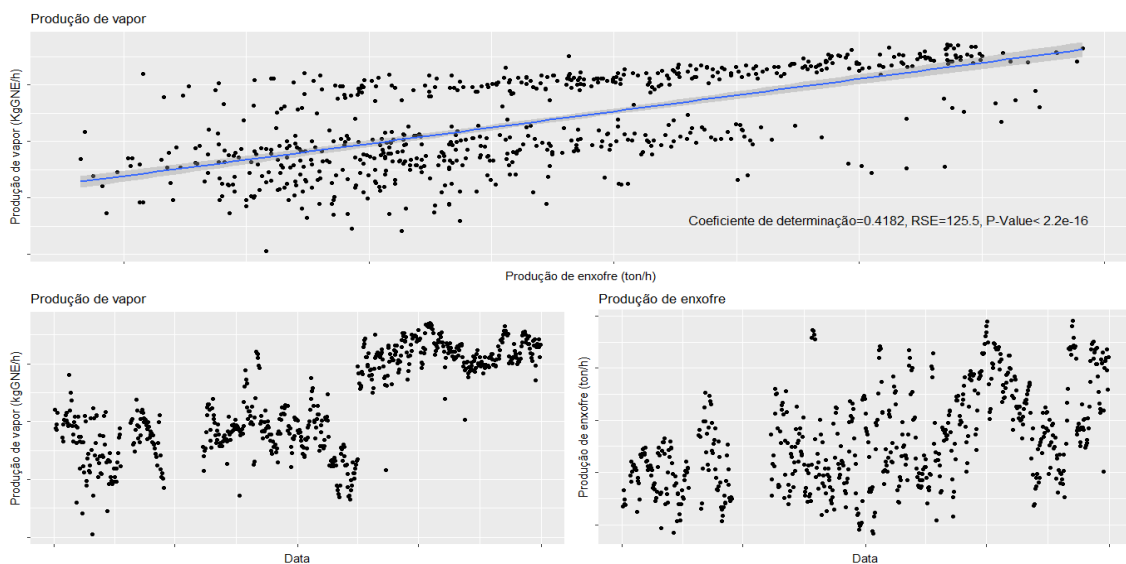


Figura D.16.6-Comportamento da produção de vapor e da quantidade de enxofre produzido.

A produção de vapor apresenta um comportamento semelhante à produção de vapor 24 barg, sendo esta semelhança provocada pela diferença em relação às quantidades produzidas de vapor 24 barg e 3.5 barg, e ao facto da produção de vapor 3.5 barg, em muitas ocasiões, ser nula. À semelhança da produção de vapor 24 barg, verifica-se um aumento considerável da produção de vapor em abril de 2016, sendo também produzidos dois modelos significativamente diferentes, utilizando dados posteriores e anteriores a esse período.

A figura seguinte representa os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

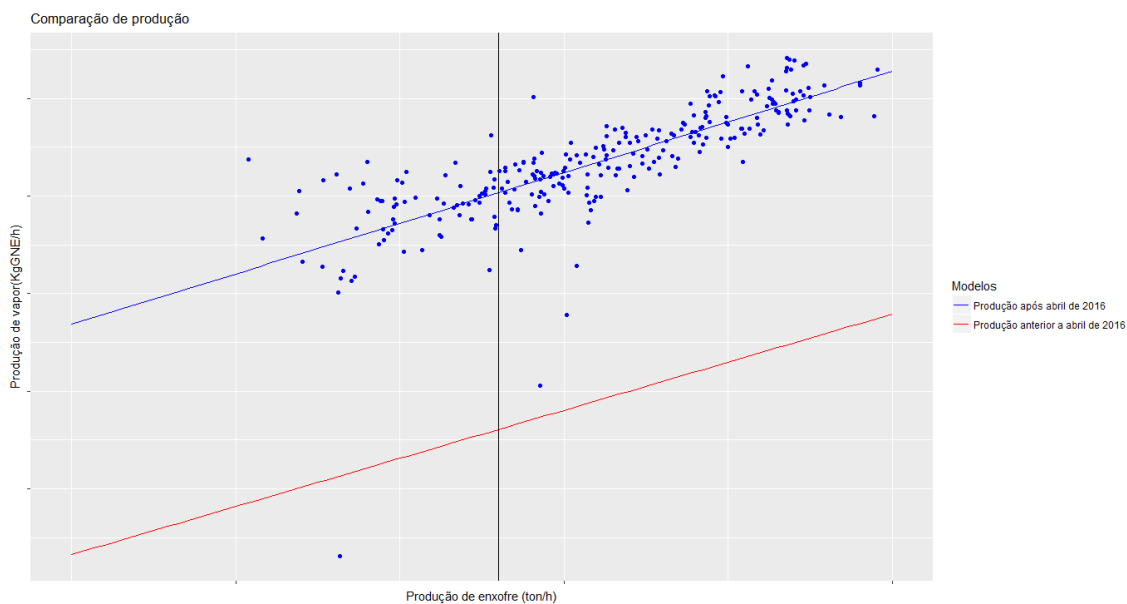


Figura D.16.7-Comparação entre modelos lineares.

Através da análise da figura D.16.7, conclui-se que a produção de vapor apresenta apenas uma relação de dependência com a produção de enxofre, sendo que o aumento desta provoca um aumento na produção de vapor.

Consumo vapor

Seguindo o raciocínio idêntico às análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.16.8, o comportamento do consumo de vapor e da quantidade de enxofre produzido.

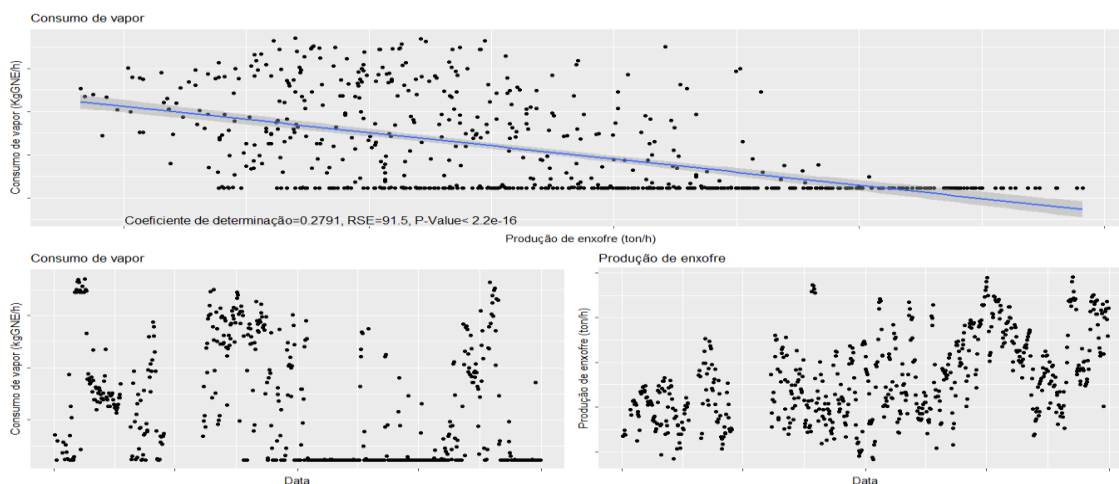


Figura D.16.8-Comportamento do consumo de vapor e da quantidade de enxofre produzido.

De modo semelhante aos consumos anteriormente analisados, o consumo de vapor apresenta diversos períodos de estagnação, sendo que este aparenta tender para um valor constante quando aumentada a produção de enxofre. Conclui-se, através do modelo, que o consumo de vapor diminui com o aumento da produção de enxofre.

Consumo de fuel gás

O fuel gás é consumido maioritariamente nos fornos. Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.16.9, o comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de enxofre produzido.

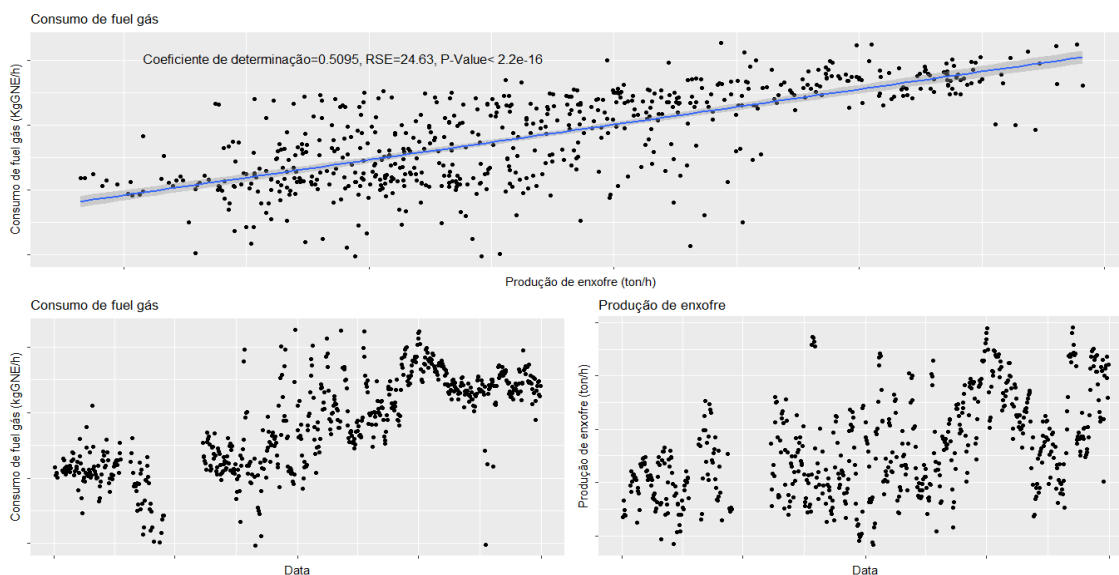


Figura D.16.9-Comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de enxofre produzido.

Através da figura D.16.9, verifica-se uma relação significativa entre o consumo de fuel gás e a produção de enxofre. Porém, de modo a reduzir a variabilidade dos dados e porque existe um aumento considerável em relação ao consumo de fuel gás em abril de 2016, foram produzidos dois modelos significativamente diferentes a partir dos dados anteriores e após abril de 2016.

A figura seguinte representa os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

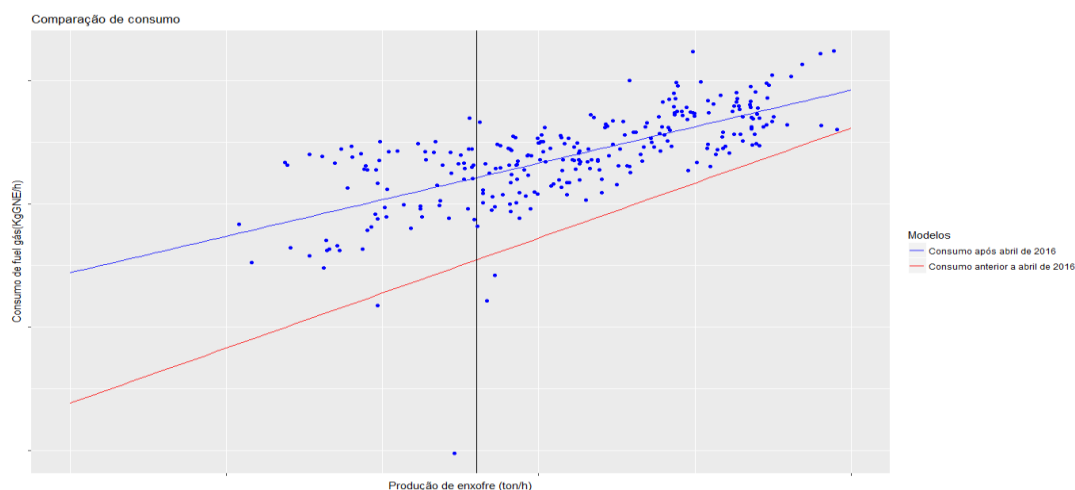


Figura D.16.10-Comparação entre modelos lineares.

Através da análise da figura D.16.10, conclui-se que o consumo de fuel gás aumenta com o aumento da quantidade de enxofre produzido. Em suma, o consumo de fuel gás só é influenciado pela quantidade de enxofre produzido.

Consumo de tail gás

O tail gás é consumido maioritariamente nos fornos. Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.16.11, o comportamento do consumo de tail gás e da quantidade de enxofre produzido.

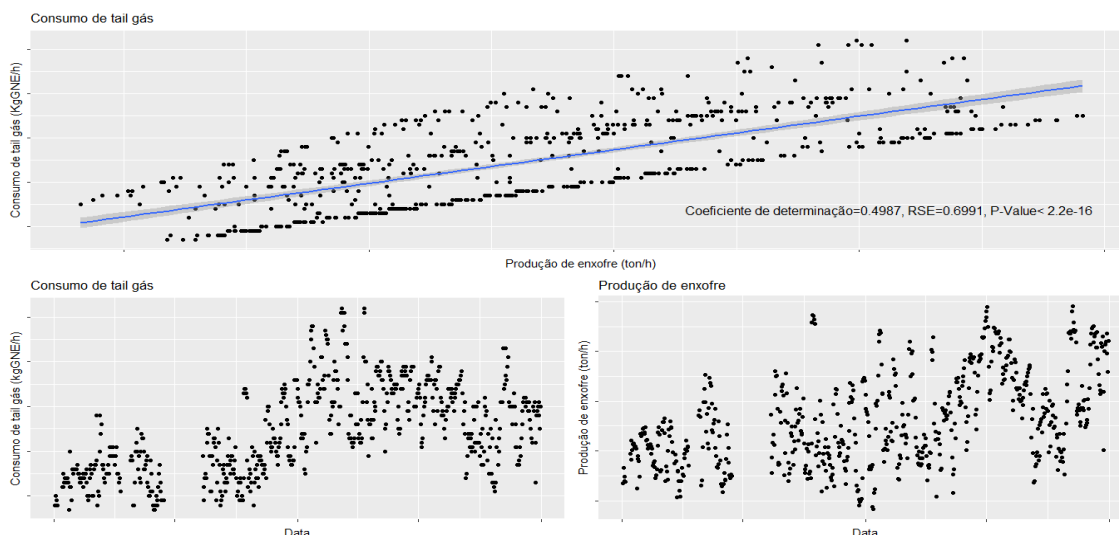


Figura D.16.11-Comportamento do consumo de tail gás e da quantidade de enxofre produzido.

Através da figura D.16.11, verifica-se que o consumo de tail gás se relaciona de forma dependente com a quantidade de enxofre produzido, porém o consumo de tail gás apresenta uma variabilidade bastante elevada. De modo a diminuí-la foram produzidos dois modelos significativamente diferentes a partir dos dados anteriores e após abril de 2016.

A figura seguinte representa os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

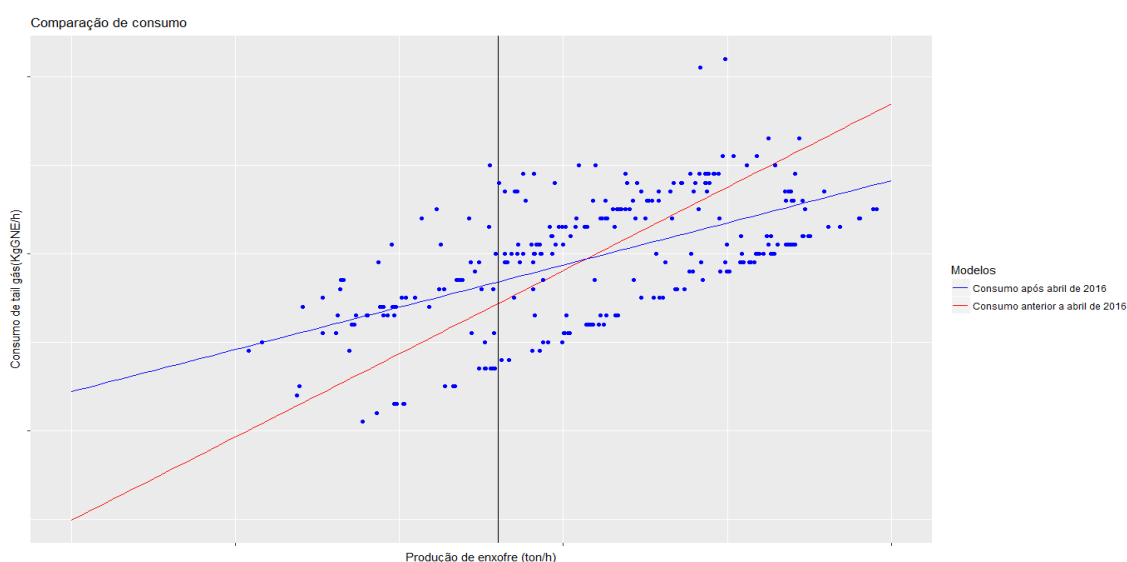


Figura D.16.12-Comparação de modelos lineares.

Através da análise da figura D.16.12, conclui-se que a variabilidade ainda se encontra bastante elevada, porém o consumo de tail gás continua a demonstrar um aumento em relação ao aumento da quantidade de enxofre produzido.

Consumo de combustível

Seguindo o mesmo raciocínio que nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.16.13, o comportamento do combustível e da quantidade de enxofre produzido.

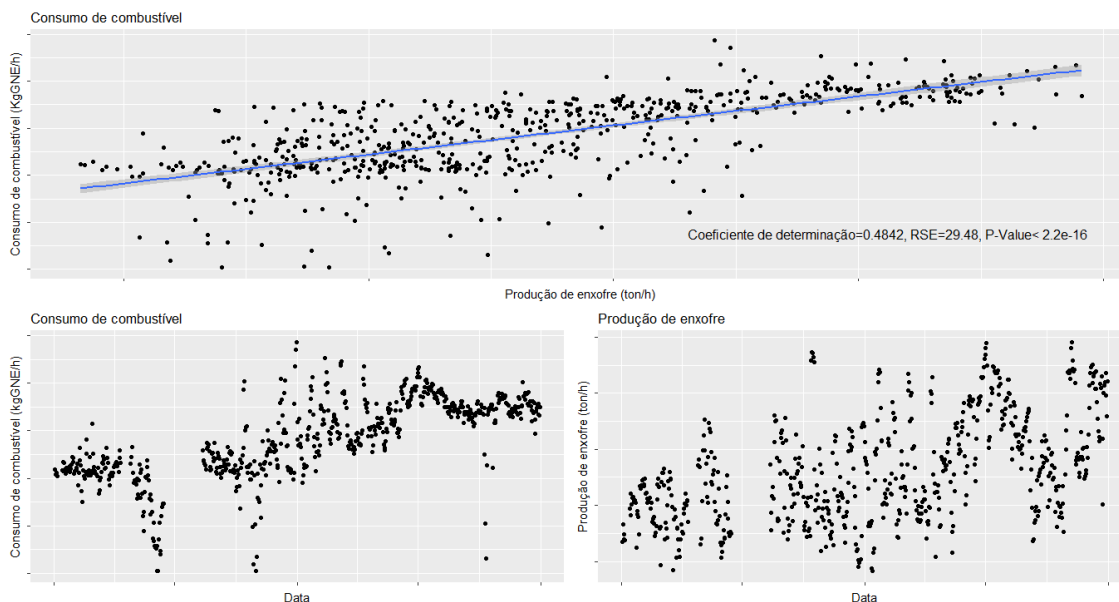


Figura D.16.13-Comportamento do consumo de combustível e da quantidade de carga da unidade.

À semelhança do SS, a quantidade consumida de tail gás em comparação com a do fuel gás é considerada mínima, fazendo com que o comportamento do consumo de combustível seja semelhante ao do consumo de fuel gás. À semelhança desse consumo, foram produzidos dois modelos significativamente diferentes utilizando os dados anteriores e posteriores a abril de 2016.

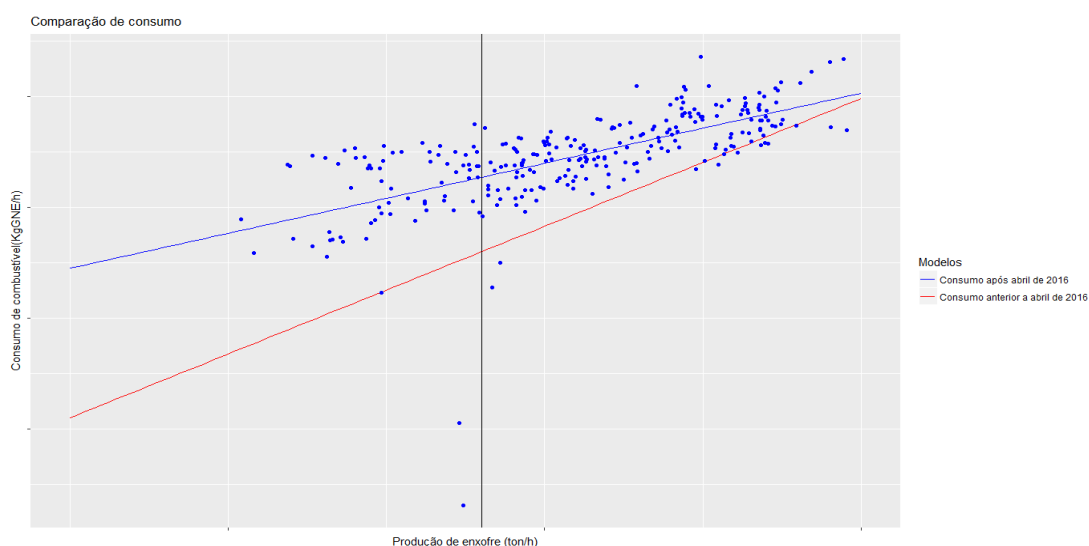


Figura D.16.14-Comparação de modelos lineares.

Através da análise da figura D.16.14, conclui-se que o consumo de combustível aumenta com o aumento da quantidade produzida de enxofre, não estando dependente das restantes variáveis explicativas.

Consumo de eletricidade

Através do raciocínio utilizado nas unidades anteriores, analisou-se o comportamento do consumo médio de eletricidade e da quantidade média de enxofre produzido. São representados estes comportamentos através da figura D.16.15.

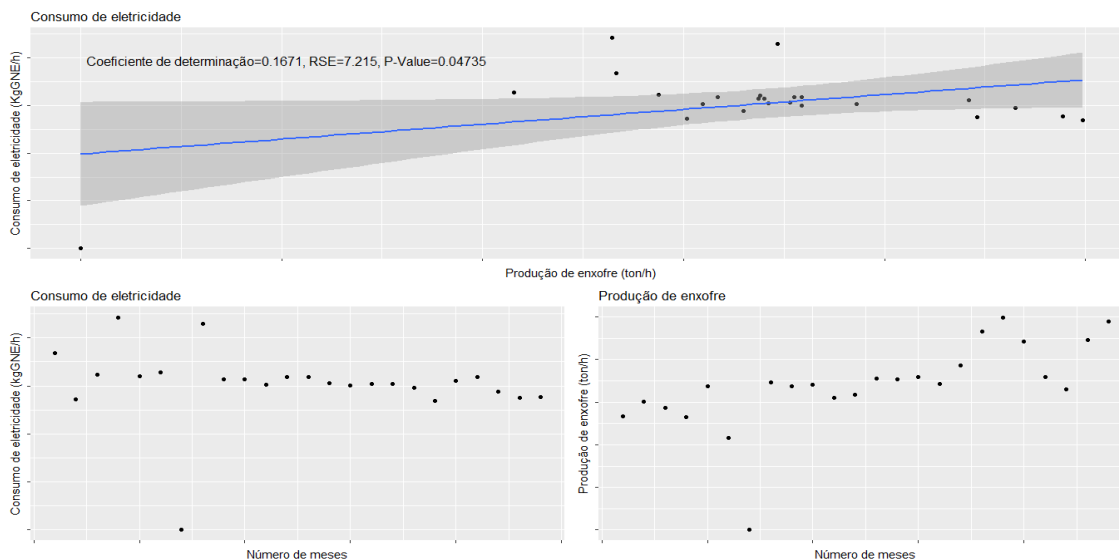


Figura D.16.15-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de enxofre produzido.

Apesar do modelo obtido estar sujeito a um erro normalizado bastante elevado, a relação entre o consumo e a produção de enxofre poderá não representar a realidade. Porém, através da análise da figura D.16.15, verifica-se um aumento do consumo de eletricidade com o aumento da produção de enxofre.

Consumo bruto

Através do raciocínio utilizado na análise aos consumos da unidade, é representado graficamente, através da figura D.16.16, o comportamento do consumo bruto e da quantidade de enxofre produzido.

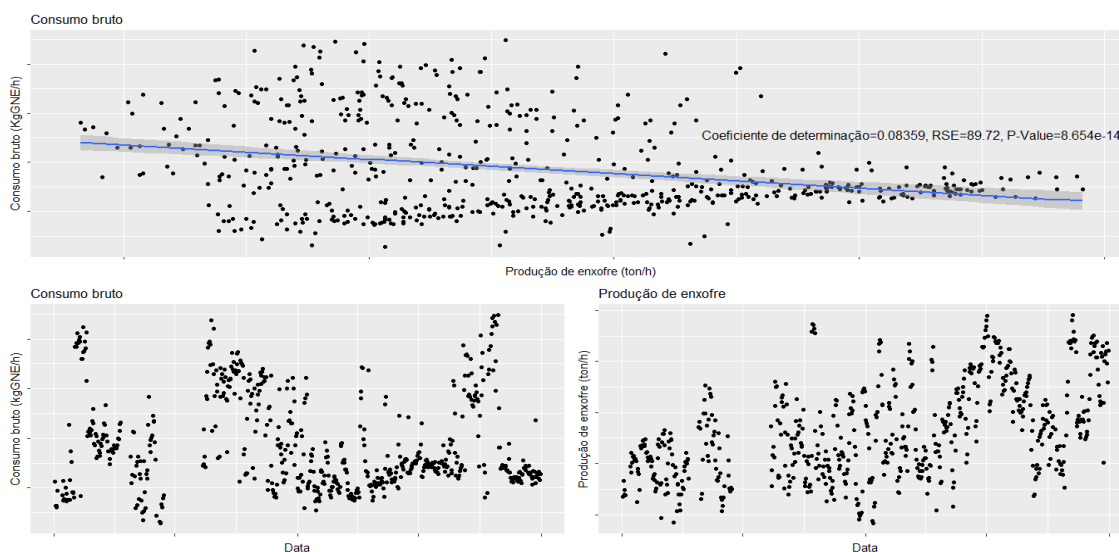


Figura D.16.16-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de enxofre produzido.

De modo semelhante aos consumos de vapor anteriormente analisados, o consumo bruto aparenta tender para um valor constante quando aumentada a produção de enxofre, concluindo-se assim, através do modelo, que o consumo bruto diminui com o aumento da produção de enxofre.

Anexo D.17-SC

Produção de vapor 24 barg

O vapor 24 barg é produzido nas caldeiras. O raciocínio utilizado na análise desta produção é idêntico ao utilizado nas unidades anteriores.

Através da figura seguinte é representado o comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de enxofre produzido da unidade.

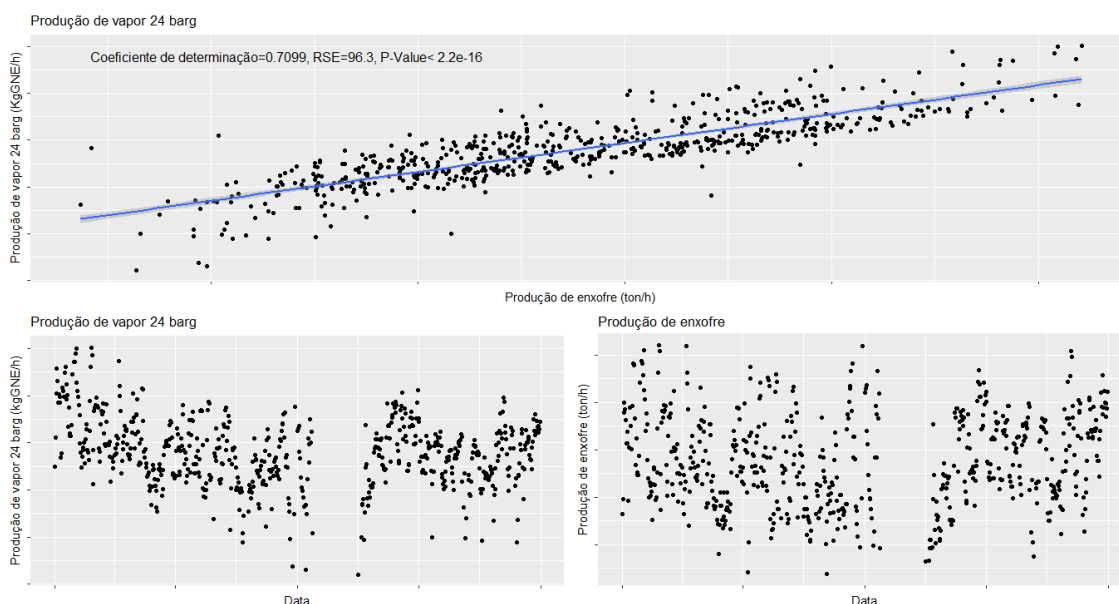


Figura D.17.1-Comportamento da produção de vapor 24 barg e da quantidade de enxofre produzido.

Através da figura D.17.1, observa-se que a produção de vapor 24 barg apresenta dependência, exclusivamente, em relação à quantidade de enxofre produzido. Adicionalmente, analisaram-se os dados anteriores e após a paragem da unidade no início de 2016, que resultou na formação de dois modelos significativamente diferentes.

A figura seguinte representa os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

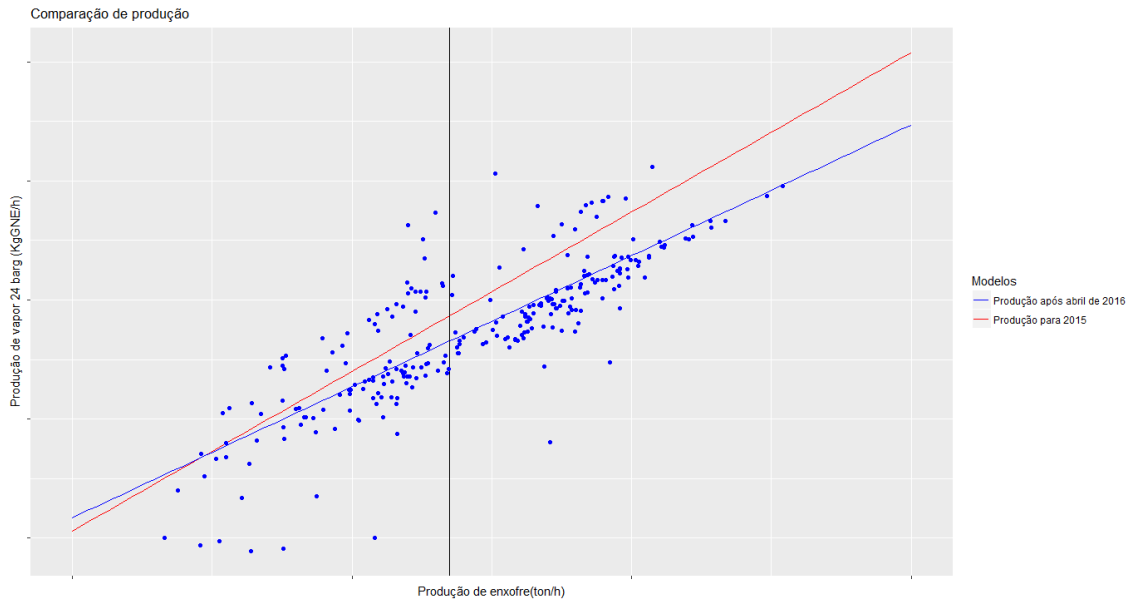


Figura D.17.2-Comparação de modelos lineares.

Através da análise da figura D.17.2, conclui-se que a produção de vapor 24 barg aumenta com o aumento da quantidade produzida de enxofre.

Produção de vapor 3.5 barg

O vapor 3.5 barg é produzido nas caldeiras. O raciocínio utilizado na análise desta produção é idêntico ao utilizado nas unidades anteriores.

Através da figura seguinte é representado o comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de enxofre produzido da unidade.

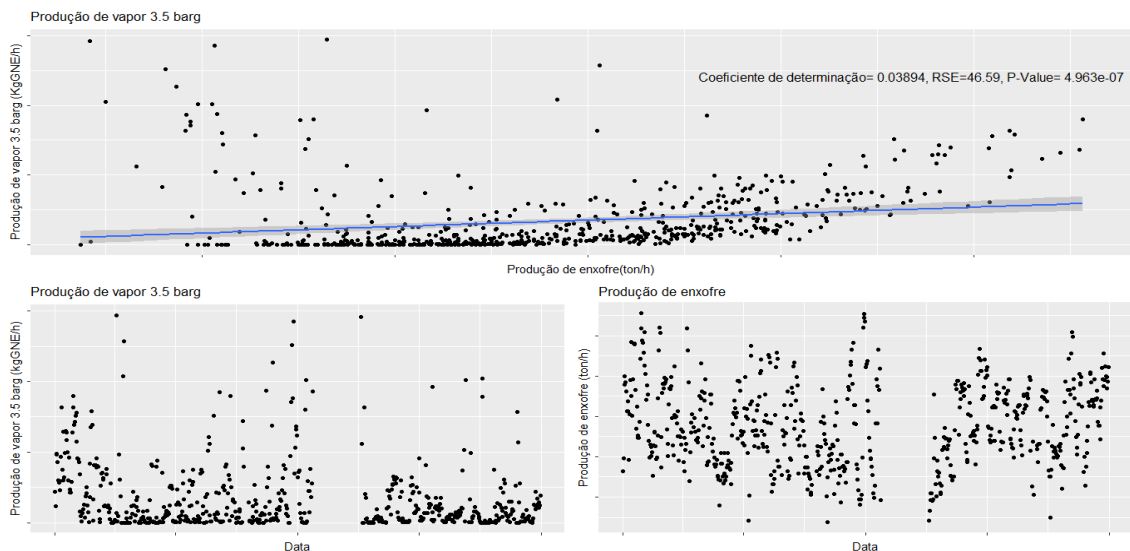


Figura D.17.3-Comportamento da produção de vapor 3.5 barg e da quantidade de enxofre produzido.

À semelhança da produção de vapor 24 barg, a produção de vapor 3.5 barg apresenta uma relação dependente apenas com a quantidade de enxofre. Foram estudados, de forma detalhada, os dados posteriores e anteriores à paragem, cujo estudo resultou na formação de dois modelos significativamente diferentes.

A figura seguinte representa os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

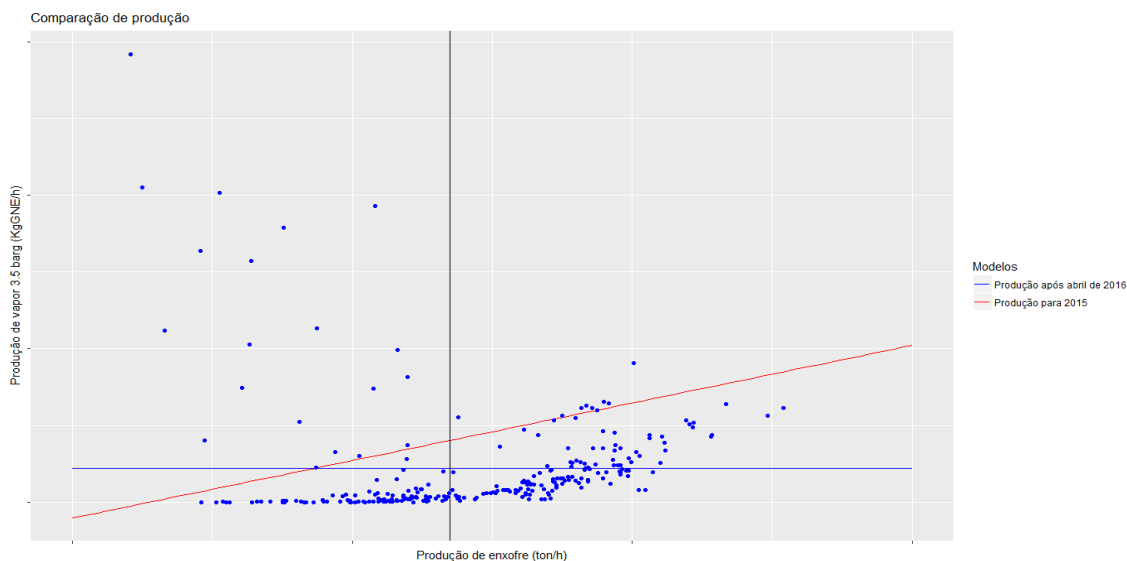


Figura D.17.4-Comparação entre modelos lineares.

Através da análise da figura D.17.4, conclui-se, com base no modelo mais recente, que a produção de vapor 3.5 barg é independente em relação à quantidade de enxofre produzido.

Produção de vapor

Seguindo o mesmo raciocínio que nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.17.5, o comportamento da produção de vapor e da quantidade de enxofre produzido.

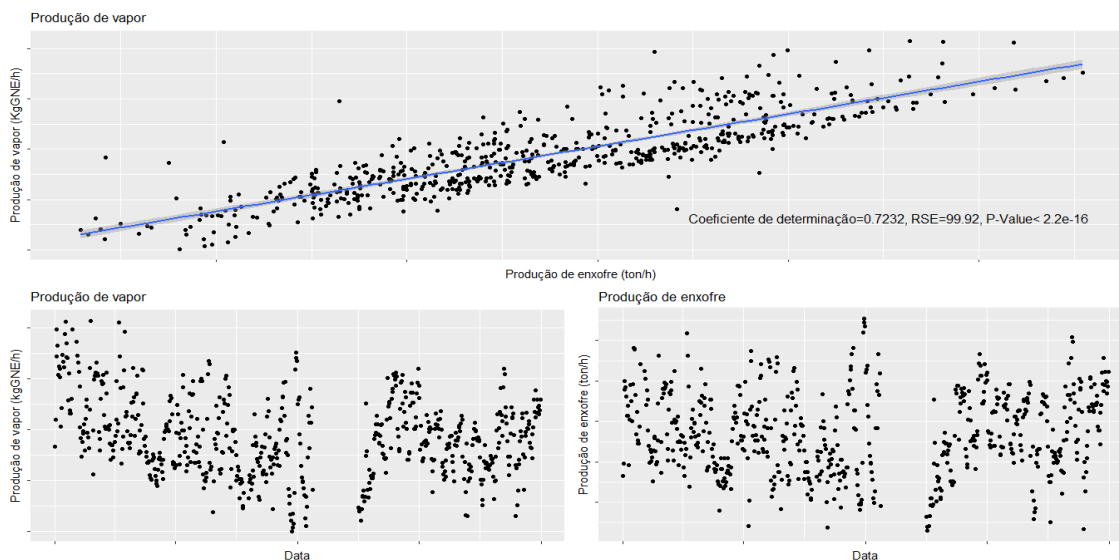


Figura D.17.5-Comportamento da produção de vapor e da quantidade de enxofre produzido.

A produção de vapor apresenta um comportamento semelhante à produção de vapor 24 barg, o que se deve às diferenças das quantidades produzidas entre o vapor 24 barg e o vapor 3.5 barg. À semelhança das anteriores produções, foram formados dois modelos significativamente diferentes a partir de dados anteriores e posteriores à paragem da unidade.

A figura seguinte representa os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

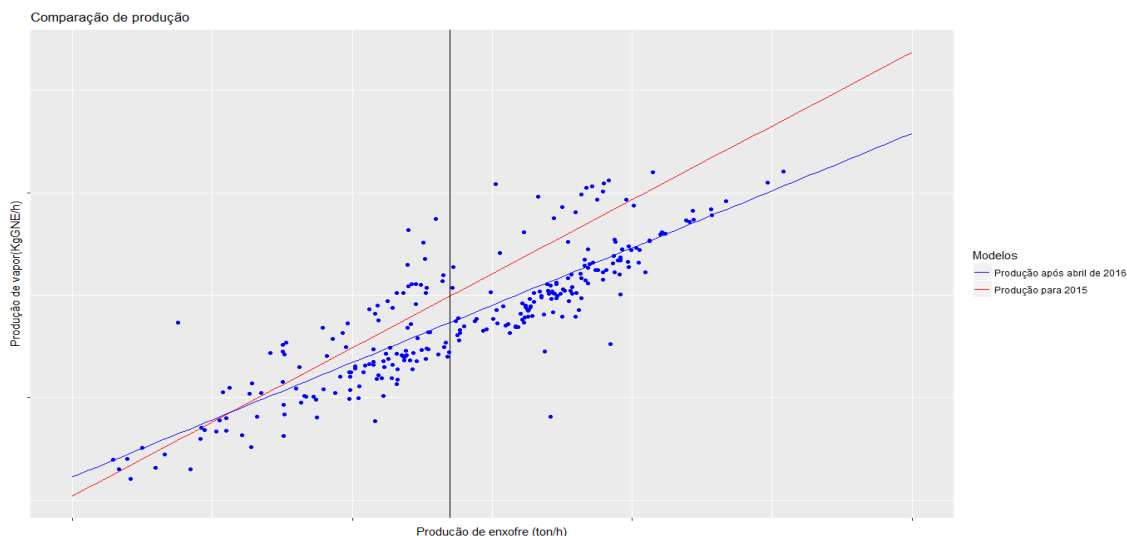


Figura D.17.6-Comparação entre modelos lineares.

Através da figura D.17.6, conclui-se que a produção de vapor aumenta com o aumento da quantidade de enxofre produzido.

Consumo de fuel gás

O fuel gás é consumido maioritariamente nos fornos. Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.17.7, o comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de enxofre produzido.

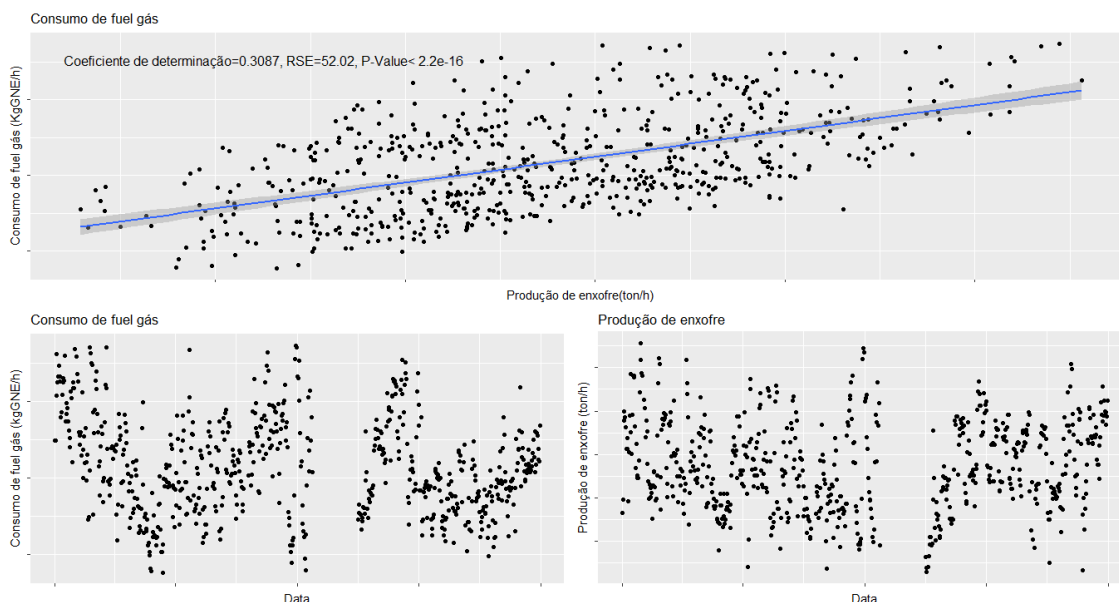


Figura D.17.7-Comportamento do consumo de fuel gás e da quantidade de enxofre produzido.

À semelhança das análises anteriores, foram formados dois modelos significativamente diferentes, utilizando os dados posteriores e anteriores à paragem da unidade, sendo que o consumo de fuel gás só é influenciado de maneira significativa pela quantidade produzida de enxofre.

A figura seguinte representa os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

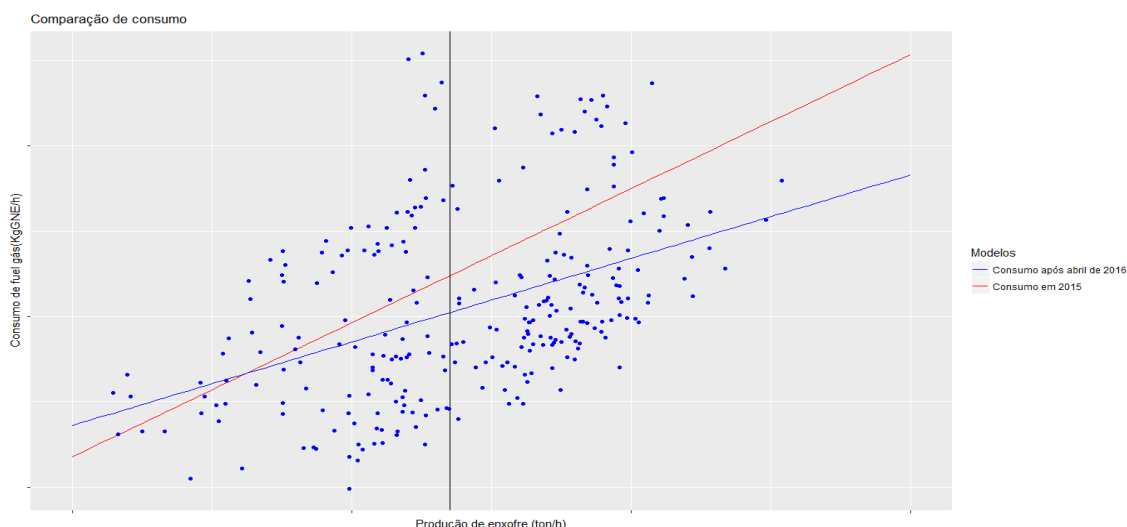


Figura D.17.8-Comparação entre modelos lineares.

Através da figura D.17.8, conclui-se que, apesar da elevada variabilidade, o consumo de fuel gás aumenta com o aumento da quantidade produzida de enxofre.

Consumo de tail gás

O tail gás é consumido maioritariamente nos fornos. Através do raciocínio utilizado nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.17.9, o comportamento do consumo de tail gás e da quantidade de enxofre produzido.

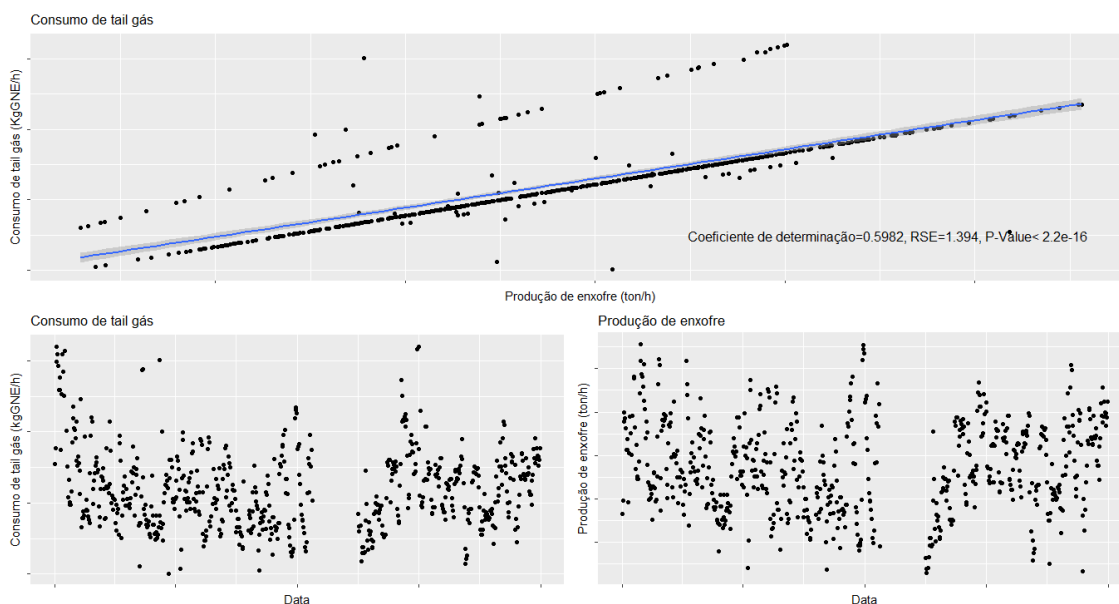


Figura D.17.9-Comportamento do consumo de tail gás e da quantidade de enxofre produzido.

Apesar da distinção entre duas rectas lineares, na figura D.17.9, não são formados dois modelos significativamente distintos a partir da separação de dados. Deste modo conclui-se que o consumo de tail gás é dependente da quantidade de enxofre produzido, sendo que quando este aumenta, o consumo de tail gás aumenta.

Consumo de combustível

Seguindo o mesmo raciocínio que nas análises anteriores, é representado graficamente, através da figura D.17.10, o comportamento do combustível e da quantidade de enxofre produzido.

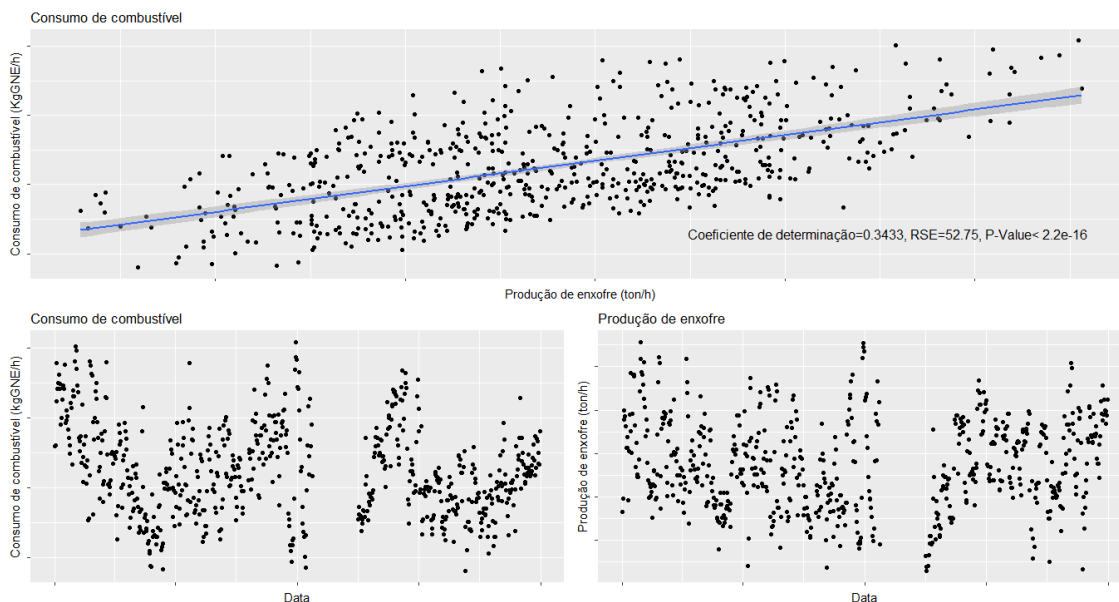


Figura D.17.10-Comportamento do consumo de combustível e da quantidade de enxofre produzido.

Devido à diferença entre as quantidades consumidas de tail gás e fuel gás, o consumo de combustível apresenta um comportamento semelhante ao consumo de fuel gás. À semelhança do consumo de fuel gás, foram produzidos dois modelos significativamente diferentes utilizando os dados anteriores e posteriores à paragem.

A figura seguinte representa os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.

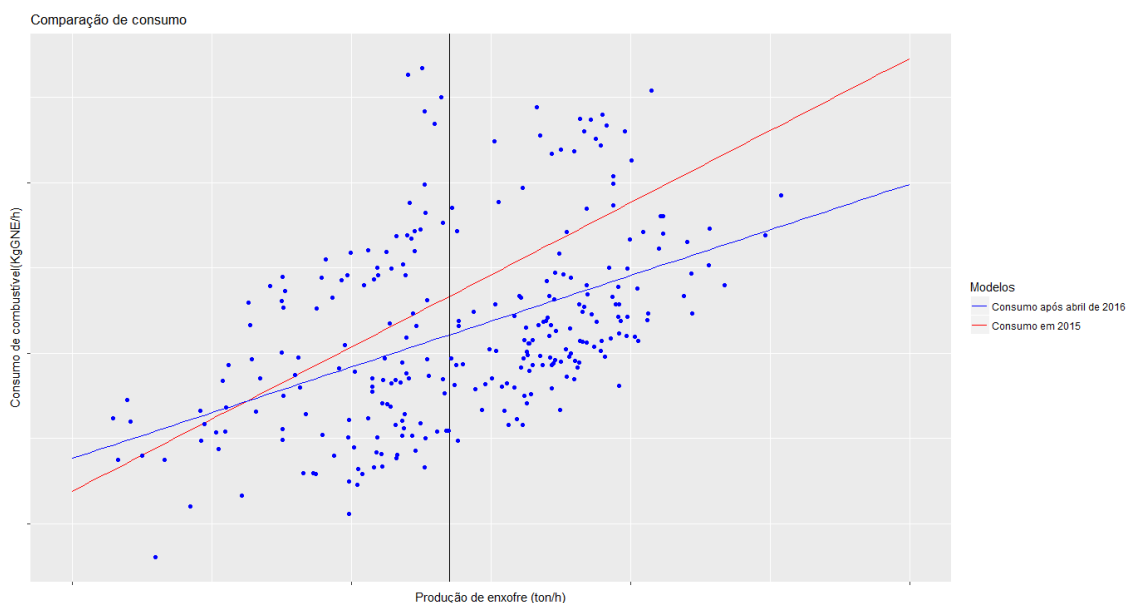


Figura D.17.11-Comparação entre modelos lineares.

À semelhança do consumo de fuel gás, conclui-se, através da figura D.17.11, que o consumo de combustível aumenta com o aumento de quantidade produzida de enxofre.

Consumo de eletricidade

Através do raciocínio utilizado nas unidades anteriores, analisou-se o comportamento do consumo médio de eletricidade e da quantidade média de enxofre produzido. São representados estes comportamentos através da figura D.17.12.

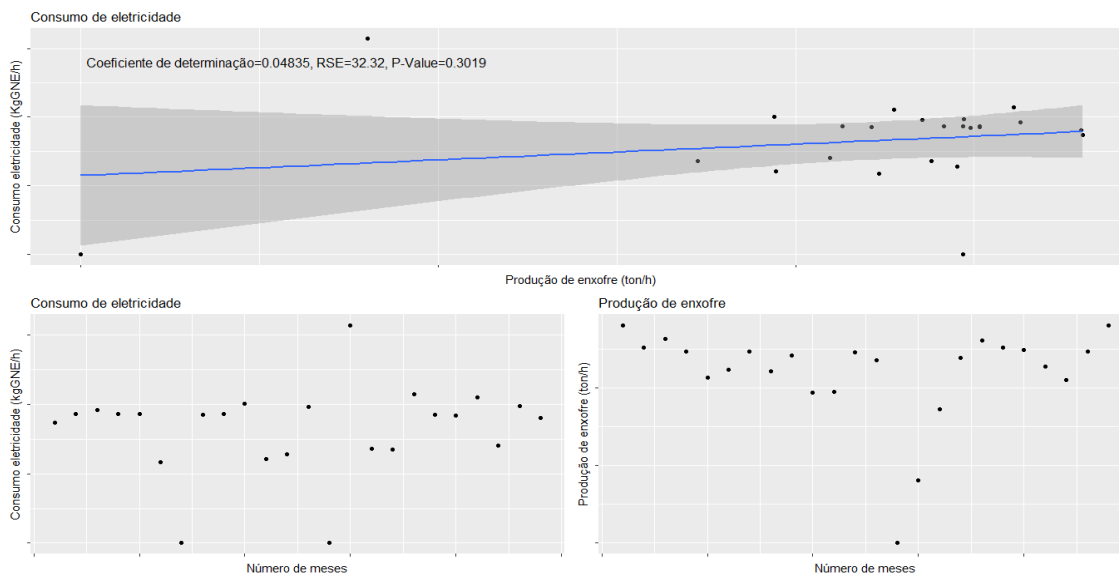


Figura D.17.12-Comportamento do consumo de eletricidade e da quantidade de enxofre produzido.

Através da análise da figura D.17.12, verifica-se que o consumo de eletricidade é independente da quantidade de enxofre produzido.

Consumo bruto

Através do raciocínio utilizado na análise aos consumos da unidade, é representado graficamente, através da figura D.17.13, o comportamento do consumo bruto e da quantidade de enxofre produzido.

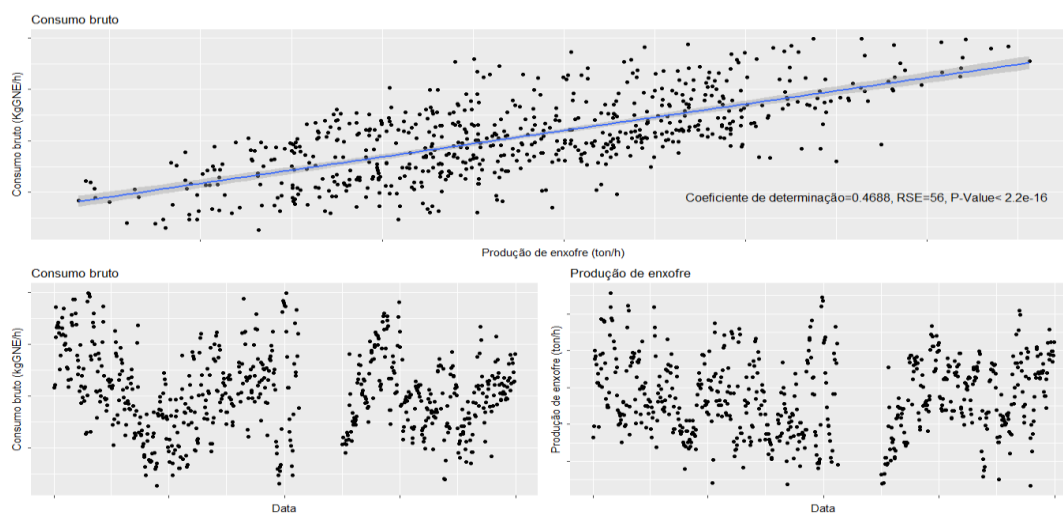


Figura D.17.13-Comportamento do consumo bruto e da quantidade de enxofre produzido.

Dado que a eletricidade é independente da quantidade de enxofre produzido, o consumo bruto tem um comportamento semelhante ao consumo de fuel gás. De modo semelhante ao consumo de fuel gás, foram produzidos dois modelos significativamente diferentes a partir dos dados anteriores e posteriores à paragem.

A figura seguinte representa os modelos lineares produzidos neste subcapítulo após a utilização dos testes estatísticos aos coeficientes dos modelos.



Figura D.17.14-Comparação de modelos lineares.

Através da figura D.17.14, conclui-se que o aumento do consumo bruto está associado a um aumento da quantidade de enxofre produzido.